

0+

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC, TECHNOLOGICAL AND PRODUCTION JOURNAL

МАРКШЕЙДЕРИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Т. 26, № 4, ИЮЛЬ – АВГУСТ 2026 г.

Vol. 26, No 4, JULY – AUGUST 2026

MINE SURVEYING AND SUBSURFACE USE

www.n-gn.ru



120 лет со дня рождения
А. Ж. Машанова



105 лет со дня рождения
Ж. С. Ержанова



100 лет со дня рождения
Д. О. Гупанова



СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТІ



SATBAYEV
UNIVERSITY



5-й юбилейный международный конгресс
22–23 сентября 2026, Москва

Организатор:

ВОСТОК КАПИТАЛ
— 24 года динамичного успеха —

СРЕДИ ДОКЛАДЧИКОВ 2026



Виктор Балабанов,
президент компании,
Вольфрам плюс групп



Виктор Еганов,
председатель,
Союз
Золотопромышленников
Урала



Леонид Гильченко,
вице-президент по работе
с государственными
органами, Селигдар



Игорь Елисеев,
генеральный директор,
Гурбей Золото



Дмитрий Парфёнов,
генеральный директор,
Белое Золото



Валентин Черняков,
генеральный директор
объединения,
Золото Якутии



Сергей Луговец,
директор по развитию,
соучредитель,
Золотой Альянс

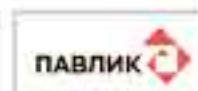


Богдан Браговский,
руководитель по цифровым
инициативам,
Управляющая компания
Полюс



Зарета Тайди,
руководитель горнорудной
отрасли,
Корпорация развития
Дальнего Востока и Арктики

Среди постоянных участников:



GOLDMININGRUS.COM

events@vostockcapital.com

ISSN 2079–3332
e-ISSN 3034–6835

Научно-технический и производственный журнал



Т. 26, № 4
ИЮЛЬ – АВГУСТ 2026 г.

Журнал издается с 2001 года



УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
Общество с ограниченной
ответственностью «Издательский дом
«Недропользование и горные науки»

РЕДАКЦИЯ:

Заместитель главного редактора **В. Н. Хетагуров**

Ведущий редактор **Н. А. Федотенко**

Ученый секретарь **Н. А. Милетенко**

Помощник главного редактора **Б. Н. Пашичев**

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ:

117647, ул. Академика Капицы, д. 26, 1.

Тел.: +7(915) 111 0386

E-mail: office@n-gn.ru, articles@n-gn.ru http://www.n-gn.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций. Регистрационный номер ПИ № ФС 77-83630
от 26.07.2022 г.

По решению ВАК журнал включен в Перечень ведущих
рецензируемых научных журналов и изданий, в которых
могут быть опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание ученой степени кандидата и
доктора наук по разработке месторождений полезных
ископаемых и по наукам о Земле

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных
ВИНИТИ и в Российский индекс научного цитирования.
Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной
справочной системе по периодическим и продолжающимся
изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

Подписной индекс издания в каталоге «Урал-Пресс»,
в объединенном каталоге АРЗИ «Пресса России» – **88016**

В течение года можно произвести подписку на журнал
непосредственно в редакции

За точность приведенных сведений
и содержание данных, не подлежащих открытой публикации,
несут ответственность авторы

При перепечатке ссылка на журнал
«Маркшейдерия и недропользование» обязательна

Журнал отпечатан в типографии ООО «Клуб печати»
127018, Москва, 3-ий проезд Марьиной Рощи, д. 40, стр. 1
тел.: +7(929)982-72-82

Тираж 1000 экз.

Свободная цена.

Дата выхода в свет: 04.09.2026

ISSN 2079-3332



24 003



© ООО «Издательский дом «Недропользование
и горные науки», 2026

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Ю. В. Дмитрак – д.т.н., проф., зав. отделом «Моделирование и управление горнотехническими системами», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. А. Барях – академик РАН, д.т.н., проф., руководитель научного направления «Горные науки» центра, ПФИЦ УрО РАН, г. Пермь, РФ

В. И. Голик – д.т.н., проф., проф. кафедры «Горное дело», ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», г. Владикавказ, РФ

В. В. Грицков – вице-президент ООО «Союз маркшейдеров России», г. Москва, РФ

В. Н. Захаров – академик РАН, д.т.н., проф., директор, ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

Н. М. Качурин – д.т.н., проф., зав. кафедрой «Геотехнологии и строительство подземных сооружений», ТулГУ, г. Тула, РФ

Р. В. Ключев – д.т.н., проф., зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)», г. Владикавказ, РФ

Н. В. Милетенко – д.г.-м.н., проф., ученый секретарь Научно-технического совета, Минприроды РФ, г. Москва, РФ

И. А. Пыталев – д.т.н., проф., директор Института горного дела и транспорта, МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, РФ

К. Н. Трубецкой – академик РАН, д.т.н., проф., советник президиума РАН, ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

М. А. Тюленев – к.т.н., доц., зав. кафедрой «Открытые горные работы», КузГТУ, г. Кемерово, РФ

В. А. Чантурия – академик РАН, д.т.н., проф., научный руководитель отдела «Проблемы комплексного извлечения минеральных компонентов из природного и техногенного сырья», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДКОЛЛЕГИЯ

С. Б. Вуйич – проф., доктор наук, действительный член Академии инженерных наук Сербии, г. Белград, Сербия

И. Гобани – д.т.н., проф. химии материалов и биогидрометаллургии, Факультет естественных наук, Колледж здравоохранения и естественных наук, Линкольнский университет, Великобритания

К. Дребенштедт – проф., доктор наук, кафедра «Открытые горные работы», Технический университет Горной академии Фрайберга, Германия

Ю. Д. Каплунов – проф., д.физ.-мат.н., Школа компьютерных наук и математики, Кильский университет, г. Ньюкасл-андер-Лайм, Великобритания

А. А. Осокин – доктор наук, Инженер-геотехник, рудник «Золотая роща», 29Metals, Западная Австралия

Н. Б. Рыспанов – д.т.н., Президент Национальной Академии Горных Наук Казахстана, Президент Горнопромышленного союза Казахстана, Казахстан

Л. Хуанг – проф., доктор наук, Китайский университет горного дела и технологий, Председатель Международного общества маркшейдеров, Китай

В. Т. Хунг – проф., доктор наук, строительный факультет, кафедра «Подземного и шахтного строительства», Ханойский горно-геологический университет, Вьетнам

М. Цехлар – д.т.н., проф., декан, факультет горного дела, экологии, управления технологическими процессами и геотехнологий, Технический университет Кошице, Словакия

И. К. Чунуев – к.т.н., Президент Кыргызской горной ассоциации и маркшейдерии, член Правления Евразийского Общества Экспертов Недропользователей, КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызстан

Б. Эрбаш – проф., доктор наук, кафедра математики, Эскишехирский технический университет, Турция

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

И. И. Айнбиндер – д.т.н., проф., г.н.с., отдел «Теория проектирования и геотехнологии комплексного освоения недр», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

А. А. Добрынин – к.т.н., в.н.с., отдел «Проблемы геомеханики и разрушения горных пород», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

Г. В. Калабин – д.т.н., проф., г.н.с., отдел «Горная экология», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

С. Б. Кулибаба – д.т.н., проф., в.н.с., лаборатория «Многофазных процессов в массивах горных пород при разработке месторождений», ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

Ф. К. Низаметдинов – д.т.н., проф., зав. кафедрой «Маркшейдерское дело и геодезия», КарТУ имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан

М. Б. Носырев – д.т.н., проф., кафедра «Информатики», Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

В. Н. Одинцев – д.т.н., в.н.с., центр проблем метана и газодинамических явлений угольных и рудных месторождений, ИПКОН РАН, г. Москва, РФ

А. А. Хорешок – д.т.н., проф., научный руководитель Горного института, КузГТУ, г. Кемерово, РФ

Ю. Ян – доц., Школа наук об окружающей среде и пространственной информатики, Китайский горно-технологический университет, г. Сюйчжоу, Китай

ISSN 2079–3332
e-ISSN 3034–6835

Scientific, Technological and Production Journal



Vol. 26, No 4
JULY – AUGUST 2026

journal has been published since 2001



FOUNDER OF THE JOURNAL
**PUBLISHING HOUSE MINERALS
MANAGEMENT AND MINING SCIENCES,**
LIMITED LIABILITY COMPANY

EDITORIAL OFFICE:

Deputy Editor-in-Chief **V. N. Khetagurov**
Lead Editor **N. A. Fedotenko**
Scientific secretary **N. A. Miletenko**
Assistant Editor-in-Chief **B. N. Pashichev**

ADDRESS OF THE EDITORIAL OFFICE AND PUBLISHER:

117647, Akademika Kapitsa st., 26, 1.
Phone: +7(915) 111 0386
E-mail: office@n-gn.ru, articles@n-gn.ru
http://www.n-gn.ru

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media.
Registration certificate PI No. FS 77-83630 dated
July 26, 2022

By decision of the Higher Attestation Commission, the journal is included in the List of leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results can be published dissertations for the degree of candidate and doctor of science in the development mineral deposits and geosciences

The journal is included in the Abstract Journal and Databases of VINITI and in the Russian science citation index Information about the journal is published annually in the international reference system in the periodicals and continuing editions of Ulrich's Periodicals Directory

Subscription index of the publication in the Ural-Press catalog, in the unified catalog ARZI «Press of Russia» – **88016**

During the year, you can subscribe to the journal directly in the editorial office

For the accuracy of the information provided and the content of data not subject to open publications are the responsibility of the authors

When reprinting a link to the journal
«Mine Surveying and Subsurface Use» required
Printed by LLC «Printing Club»

127018, Moscow
phone: +7(929)982-72-82
Covering - 1000 copies.
Free price.
Release date: 04.09.2026

ISSN 2079-3332



24 003



© Publishing House Minerals Management
and Mining Sciences, LLC, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

Yuri V. Dmitrak - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Modeling and Management Mining Systems, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL BOARD

Alexander A. Baryakh - Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the scientific direction Mining Sciences of the center, Mining Institute, Ural Branch, RAS, Perm, Russian Federation

Vladimir I. Golik - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Professor of the Mining Department, North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russian Federation

Victor V. Gritskov - Vice-President of the Union of Surveyors of Russia, Moscow, Russian Federation

Valery N. Zakharov - Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Nikolay M. Kachurin - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Geotechnologies and Construction of Underground Structures, Tula State University, Tula, Russian Federation

Roman V. Klyuev - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Department Power Supply of Industrial Enterprises, North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russian Federation

Nikolay V. Miletenko - Dr. Sci. (Geol. Mineral.), Prof., Scientific Secretary of the Scientific and Technical Council, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Ivan A. Pytalev - Dr. Sci. (Eng.), Director of the Institute of Mining and Transport, Nosov Marnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Kliment N. Trubetskoy - Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Advisor to the Presidium of the RAS, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Maxim A. Tylenov - Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Head of the Department of Open-pit Mining, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

Valentin A. Chanturia - Academician of the RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Scientific Director of the Department of Problems of complex extraction of mineral components from natural and man-made raw materials, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Slobodan B. Vujčić - Professor, Dr. Sci., Full member of the Academy of Engineering Sciences of Serbia, Belgrade, Serbia

Yousef Ghorbani - Ph.D., Professor in Materials Chemistry and Bio-Hydrometallurgy, School of Natural Science, College of Health and Science, University of Lincoln, United Kingdom

Carsten Drebenstedt - Professor, Dr. Sci., Chair Surface Mining, Technical University Mining Academy Freiberg, Germany

Julius D. Kaplunov - Professor, Dr. Sci. in Theoretical Solid Mechanics, School of Computer Science and Mathematics, Keele University, United Kingdom

Alexander A. Osokin - Dr. Sci., Geotechnical Engineer, Golden Grove, Operations Pty Ltd, 29Metals, Western Australia

Nurlan B. Ryspanov - Dr. Sci. (Eng.), President of the National Academy of Mining Sciences of Kazakhstan, President of the Kazakhstan Mining Union, Kazakhstan

Leting Huang - Professor, Dr. Sci., China University of Mining and Technology, Chair of the International Society for Mine Surveying, China

Vo Trong Hung - Professor, Dr. Sci., Faculty for Construction, Department for Underground and Mines Construction, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

Michal Cehlar - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Dean, Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Kosice, Slovakia

Ishimbay K. Chunuev - PhD in Technical Sciences, President of the Kyrgyz Mining Association and Surveying, Member of the Board of the Eurasian Society of Experts of Subsoil Users, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyrgyzstan

Baris Erbas - Professor, Dr. Sci., Department of Mathematics, Eskisehir Technical University, Turkey

EDITORIAL COUNCIL

Igor I. Ainbinder - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Chief Researcher of the Department of Design Theory and Geotechnology of Integrated Subsoil Development, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Alexander A. Dobrynin - Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher at the Department of Geomechanics and Rock Destruction, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Gennady V. Kalabin - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Chief Researcher of the Department of Mountain Ecology, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Sergey B. Kulibaba - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Leading Researcher Laboratory of Multiphase processes in rock formations during field development, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Farit K. Nizameldinov - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Surveying and Geodesy, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Mikhail B. Nosyrev - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Computer Science, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

Vladimir N. Odintsev - Dr. Sci. (Eng.), Leading researcher at the Center for Problems of Methane and Gas Dynamic Phenomena of Coal and Ore Deposits, Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources RAS, Moscow, Russian Federation

Alexey A. Khreshchok - Dr. Sci. (Eng.), Prof., Scientific Director of the Mining Institute, T.F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

Yongjun Yang - Ass. Professor, School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, China

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Акжан Жаксыбекович Машанов: Суть мироздания разумом пронзив	5	Akzhan Zhaksybekovich Mashanov: The essence of the universe, pierced by reason
Ученый с мировым именем – Жакан Сулейменович Ержанов	7	A world-renowned scientist – Zhakan Suleimenovich Erzhanov
Легендарный горняк, прославивший Сатпаевскую школу – Далабай Оспанович Ешпанов	9	The legendary miner who brought fame to the Satpayev school – Dalabai Ospanovich Eshpanov
Знание, опыт, ответственность за дело – жизненное кредо Виктора Хайкова	11	Knowledge, experience, and responsibility for one's work are Viktor Khaikov's life credo
К. Б. Рысбеков, С. Б. Шерубай, Е. С. Ауелхан, Д. Сагин, О. Байтурбай	13	K. B. Rysbekov, S. B. Sherubai, E. S. Auelkhan, J. Sagin, O. Baiturbay
Исследование влияния деятельности горно-металлургического комплекса на подземные воды и пути решения экологических проблем	19	Study of the impact of the mining and metallurgical complex on groundwater and ways to address environmental problems
В. Т. Хайков, А. Д. Исенов, Е. Ж. Ормамбеков, Р. В. Шульц	24	V. T. Khaikov, A. D. Isenov, E. Zh. Ormambekov, R. V. Shults
Состояние и перспективы маркшейдерского обеспечения АО «Altyntau-Kokshetau»	24	Current status and prospects of mine surveying support at Altyntau-Kokshetau JSC
Г. Мейрамбек, К. Б. Рысбеков, М. Б. Нурпеисова, С. Т. Солтабаева, Ш. К. Айтказинова	24	G. Meirambek, K. B. Rysbekov, M. B. Nurpeisova, S. T. Soltabayeva, Sh. K. Aitkazinova
Геодинамический полигон Жиландинского рудного поля: практика и перспективы	31	Geodynamic test site of the Zhilandy ore field: practice and prospects
М. Б. Нурпеисова, С. Р. Гречухин, Р. В. Шульц, Е. Ж. Ормамбеков, А. А. Бек	31	M. B. Nurpeisova, S. R. Grechukhin, R. V. Shults, Ye. Zh. Ormanbekov, A. A. Bek
Современные методы геотехники – эффективный способ обеспечения промышленной безопасности объектов недропользования	38	Modern geotechnical methods – effective approach to ensuring industrial safety in mining
А. К. Кенесбаева, О. С. Курманбаев, Р. С. Курманбаев, Л. Л. Жалилов	38	A. K. Kenesbayeva, O. S. Kurmanbayev, R. S. Kurmanbayev, L. L. Zhalilov
Моделирование деформационных процессов земной поверхности на нефтегазовом месторождении	44	Modeling of deformation processes of the earth's surface at an oil and gas field
Ш. Ш. Бекбасаров, Ф. З. Юлдашева	44	Sh. Sh. Bekbassarov, F. Z. Yuldasheva
Разработка системы КРП для реформирования способа сбора и утилизации твердых бытовых отходов	49	Development of a KPI system for reforming municipal solid waste collection and disposal methods
Г. С. Мадимарова, С. М. Алекпаев, А. М. Жумахан, Ш. А. Жантуева	49	G. S. Madimarova, S. M. Alekpayev, A. M. Zhumakhan, Sh. A. Zhantuyeva
Геомеханическое моделирование напряженно-деформированного состояния карьерных откосов по данным комплексного геодезического мониторинга	54	Geomechanical modeling of the stress-strain state of open-pit slopes based on integrated geodetic monitoring data
Т. Б. Нурпеисова, Р. В. Шульц, Б. Мынгжасаров, О. Абил	54	T. B. Nurpeisova, R. V. Shults, B. Myngzhasarov, O. Abil
Геодезическое обеспечение мониторинга Капчагайской гидроэлектростанции	60	Geodetic support for monitoring the Kapchagay hydroelectric power plant
Н. Ф. Низаметдинов, А. С. Туякбай, Р. Ф. Низаметдинов, А. Р. Естаева, А. А. Турсынбеков	60	N. F. Nizametdinov, A. S. Tuyakbay, R. F. Nizametdinov, A. R. Yestayeva, A. A. Tursynbekov
Методическая основа обоснования рациональных параметров откосов уступов и бортов карьера		Methodological basis for substantiating rational parameters of slopes ledges and sides of a quarry

- | | |
|---|---|
| <p><i>М. Бегентаев, Е. Кулдеев, М. Б. Нурпеисова,
Ш. Б. Бекбассаров, А. А. Бек</i></p> <p>Исследование золошлаковых отходов в технологии
производства строительных материалов</p> <p style="text-align: right;"><i>В. И. Татарников</i></p> <p>Преимущества составов и технологии консолидируемых
закладочных смесей из отходов сильвинита</p> <p style="text-align: right;"><i>П. О. Зубков</i></p> <p>Обоснование параметров инновационных технологий
формирования монолитных закладочных массивов
для комплексного освоения глубокозалегающих
месторождений калийных солей</p> | <p>66</p> <p>Study of the application of ash and slag waste in building
materials production technology</p> <p><i>V. I. Tatarnikov</i></p> <p>71</p> <p>Advantages of consolidating backfill mixture compositions and
technology using sylvinite waste</p> <p><i>P. O. Zubkov</i></p> <p>83</p> <p>Substantiation of the parameters of innovative technologies
for forming monolithic backfill masses for the integrated
development of deep-seated potash deposits</p> |
|---|---|

Суть мироздания разумом пронзив...

Среди выдающихся ученых-горняков XX века особое место занимает академик Национальной академии наук Республики Казахстан Акжан Жаксыбекович Машанов – основоположник геомеханики в Казахстане, выдающийся исследователь наследия Абу Насра аль-Фараби и один из крупнейших представителей Сатпаевской научной школы.

Имя Акжана Жаксыбековича Машанова занимает особое место в истории горной науки Казахстана. Первый аспирант Казахского горно-металлургического института, доктор наук, академик, основатель научной школы геомеханики, он принадлежит к числу ученых, определивших развитие отечественного горного дела во второй половине XX века. Его исследования в области механики массива горных пород получили признание не только в СССР, но и за рубежом. Он прожил долгую и яркую жизнь, оставив потомкам многоотомные исследовательские труды в различных областях науки и культуры, а также память о себе как о неординарной личности и об открытом, искреннем человеке. Круг интересов ученого был довольно широк: проведение глубоких исследований в области геомеханики – новой отрасли горных наук, написание учебников по геологическим дисциплинам на казахском языке, составление русско-казахского словаря горно-геологических терминов, написание научно-фантастических произведений, популяризация науки.

Акжан Жаксыбекович родился 2 ноября 1906 года в Карагандинской области. В 1934 году поступил в только что созданный Казахский горно-металлургический институт (КазГМИ), ныне КазНУ имени К. И. Сатпаева, который окончил в 1939 году с отличием по специальности «горный инженер-геолог». В этом же году впервые в КазГМИ была открыта аспирантура. Заведующий кафедрой маркшейдерского дела профессор П. А. Рыжов, не дожидаясь выпуска инженеров-маркшейдеров, начинает готовить своих учеников среди студентов смежной специальности, прежде всего горняков-геологов. Его выбор падает на отличника учебы А. Ж. Машанова, который становится первым аспирантом института и кафедры маркшейдерского дела КазГМИ.

В 1943 году А. Ж. Машанов успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Структура Тургайского рудного поля». В этот период он сам формируется как будущий крупный ученый. При исследовании механизма геологической структуры Тургайского рудного поля А. Ж. Машанов впервые использует методы геометрии недр, что явилось научным открытием для геологической и горной науки. В дальнейшем под руководством А. Ж. Машанова молодые ученые Казахстана провели ряд значительных работ по внедрению методов геометрии недр на многих месторождениях цветных металлов, в частности на Жезказганском меднорудном бассейне.

А. Ж. Машанов является первооткрывателем ряда месторождений полиметаллического типа: Акбастау, Кросмурун, Жосалы. Кроме того, он открыл несколько золоторудных месторождений. Результатом его научной деятельности явилась монография «Основы новой методики изучения структуры рудных полей».



Отличительной чертой научных работ А. Ж. Машанова является стремление синтезировать достижения смежных наук. Глубокое познание в области геологии, математики, геометрии, механики и горного дела позволили ему создать новое научное направление – геомеханику, которое нашло широкое научное и практическое применение в горном деле как Казахстана, так и других стран.

Продолжая научную деятельность, А. Ж. Машанов публикует ряд научных трудов в области геомеханики: «Основы геомеханики скально-трещиноватых пород», «Механика массива горных пород», «Устойчивость уступов и бортов карьеров бассейна Каратау» и другие.

Он был инициатором проведения ряда международных и всесоюзных научно-практических конференций и совещаний в Москве, Ленинграде, Алма-Ате, Усть-Каменогорске и других городах бывшего СССР. Его научные труды по геомеханике были одобрены и признаны за рубежом и изданы на немецком языке на родине маркшейдерской науки – в Германии.

Уже в 1946 году А. Ж. Машанов защитил на ученом совете Московского геологоразведочного института докторскую диссертацию на стыке трех наук: геологии, механики и горного дела. На защите в качестве официальных оппонентов выступили такие крупные ученые, как доктор геолого-минералогических наук В. М. Крейтер, механик-академик Л. С. Лейбензон, доктор технических наук П. К. Соболевский. Все они положительно оценили докторскую диссертацию А. Ж. Машанова.

Открытие Академии наук Казахстана в 1946 году стало не

только крупнейшим общественно-политическим событием в жизни республики, но и важнейшим этапом в организационном построении системы научных исследований в Казахстане. А. Ж. Машанов являлся одним из учредителей АН КазССР и принимал активное участие в ее работе на протяжении всей трудовой деятельности.

С 1950–1997 годы А. Ж. Машанов работал в КазПТИ (ныне КазНУ имени К. И. Сатпаева) профессором, а с 1959 года заведующим кафедрой маркшейдерского дела. На протяжении многолетней научно-педагогической деятельности в родном учебном заведении А. Ж. Машановым было подготовлено более тысячи горных инженеров-маркшейдеров. За этот период под научным руководством А. Ж. Машанова защитили диссертации свыше 25 кандидатов и докторов технических наук.

Наряду с общими проблемами науки и техники, большое значение А. Ж. Машанов придавал учебной литературе на казахском языке. Им опубликован ряд учебников и учебных пособий по геологии, горному делу на казахском языке для вузов Казахстана. Книга «Кристаллография, минералогия и петрография» является первым и единственным учебником на казахском языке.

А. Ж. Машанов был также известен, как пропагандист научно-технических знаний. Им изданы многие научно-фантастические и научно-популярные труды: «Тайны Земли», «Вулканизм», «Землетрясения», «Как появилась жизнь на Земле», «Путешествия в недра Земли», «У очага чудесного огня», «Табу» и другие.

А. Ж. Машанов заслуженно считается основоположником научно-фантастического жанра в казахской литературе. Верно говорят, что талантливый человек талантлив во всем. Как личность многогранная Акжан Жаксыбекович не замыкался только в узкоспециализированной сфере.

Не менее профессиональные и монументальные изыскания им сделаны в области истории наук. Им изучалась история горно-геологической науки, опубликованы работы о древних выработках на территории Казахстана, по минералогии, геологии, горному делу, металлургии, Абу Райхан аль-Беруни и Абу Наср аль-Фараби.

Трудно переоценить вклад А. Ж. Машанова в дело возвращения на родину духа и имени Абу Насра аль-Фараби. Профессор побывал во многих странах мира, собирая труды аль-Фараби, разбросанные по разным библиотекам. В 1968 году он посетил мечеть Баб-ас Сагире в Дамаске, где находится могила нашего великого предка.

Многие из книг, посвященных А. Ж. Машановым аль-Фараби, известны читателям Казахстана, например «Аристо-

тель Востока», «Фараби», «Аль-Фараби и Абай», «Великие ученые Средней Азии и Казахстана» и др.

Акжан Жаксыбекович, продолжая искать следы аль-Фараби, столкнулся с его именем в книге немецкого астронома Иоганна Кеплера «Музыка небес», жившего в XVI–XVII веках. Там было немало заимствований из трудов аль-Фараби «Китаб аль-музыка аль-Кабир». По этому поводу в 1984 году Акжан Машанов в издаваемом в Кувейте журнале «Аль-Гараби» опубликовал статью на арабском языке, доказывая свое мнение. После чего ученые во многих рецензиях, посвященных этой статье, признали, что «Господин аль-Машани из Казахстана был прав». За глубокие исследования наследия аль-Фараби арабские ученые присвоили ему новую фамилию: «аль-Машани», которую он принял и стал подписывать ею все новые научные работы («Ай арысы», «Геомеханика»).

В 1978 году исполнилось 1 100 лет со дня рождения Абу Насра аль-Фараби. Машанов был инициатором проведения конференции, посвященной этому великому ученому, в Алма-Ате. На конференции присутствовали видные ученые многих стран мира, которые познакомились с фарабитом Казахстана, и его имя распространилось за пределами нашей республики.

В своих трудах А. Ж. Машанов стремился показать взаимосвязь науки, философии и духовной культуры. Огромный вклад, внесенный им в развитие науки, был достоин оценен общественностью и правительством. Он награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, медалями и грамотами Верховного Совета КазССР. Имя Акжан аль-Машани присвоено естественно-гуманитарному институту при Казахском национальном техническом университете имени К. И. Сатпаева.

Говорят, что вся жизнь ученого отражена в его научных статьях, книгах и учениках. За весь период научной деятельности А. аль-Машани опубликовано более 200 научных статей, 10 монографий, 5 учебников и 8 научно-популярных изданий.

Созданная им научная школа продолжает развиваться его учениками и последователями.

Маржан Байсановна НУРПЕИСОВА,
академик, доктор технических наук,
профессор КазНУ имени К. И. Сатпаева,
член Союза писателей Казахстана

Канай Бахытович РЫСБЕКОВ,
академик, кандидат технических наук, профессор,
директор горно-металлургического института
Satbayev University

Ученый с мировым именем – Жакан Сулейменович Ержанов

Жакану Сулейменовичу Ержанову, выдающемуся ученому, основателю научной школы по геомеханике, заслуженному деятелю науки Казахстана, академику НАН РК и НИИ РК, доктору технических наук, профессору исполняется 105 лет со дня рождения.

В разные годы он занимал должности заведующего лабораторией, заместителя директора института математики и механики, заведующего отделом института механики и машиноведения, директора института сейсмологии, академика-секретаря отделения наук о Земле, главного ученого секретаря президиума Академии наук Казахстана.

Был членом генеральной ассамблеи Международного союза по теоретической и прикладной механике (IUTAM), председателем Национального комитета РК по теоретической и прикладной механике, членом президиума Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике.

Жакан Сулейменович Ержанов родился 10 февраля 1922 года в Баянаульском районе Павлодарской области в семье учителя. После окончания средней школы он поступил в Казахский горно-металлургический институт (ныне КазНУ имени К. И. Сатпаева), который окончил в 1944 году с отличием, получив специальность горного инженера-маркшейдера. Уже в студенческие годы, обучаясь под руководством основоположника геометрии недр профессора П. А. Рыжова, Жакан Сулейменович увлекся возможностями использования математических методов в горном деле. Жакан Сулейменович поступил в аспирантуру при Казахском филиале АН СССР. Темой его кандидатской диссертации стало «Исследование деформации горных пород при разработке круто падающих рудных месторождений».

После защиты он перешел на педагогическую работу в Днепропетровский горный институт. Там он вступил в ряды КПСС, проводил интенсивные экспериментальные и теоретические исследования, результаты которых впоследствии легли в основу его докторской диссертации и научных докладов. Так он проработал в Днепропетровске 10 лет.

В 1960 году по приглашению президента Академии наук Республики Казахстан академика К. И. Сатпаева Ж. С. Ержанов возвращается в Казахстан и начинает создавать базу отдела механики в составе сектора математики и механики. В 1963-м Ержанов блестяще защитил докторскую диссертацию в Сибирском отделении АН СССР в присутствии виднейших советских механиков. В 1965-м был открыт институт математики и механики, директором которого стал Ержанов. В этом же году казахстанскими механиками во главе с Ж. С. Ержановым была организована и проведена I Всесоюзная научная конференция по механике горных пород.

Ж. С. Ержанов внес выдающийся вклад в проведение фундаментальных исследований по механике, создал новые направления в современной механике Земли, достижения которой широко используются в практике горного и строительного дела. Им получены основополагающие результаты по



механике тектонического развития Земли и построены движущие механизмы послегерцинских движений. В результате им построены модели зарождения и формирования основных типов складок и складчатостей, позволившие выявить природу их морфологии и оценить соответствующие складкообразующие силы.

Свою теорию складкообразования в земной коре Ж. С. Ержанов апробировал в ведущих коллективах специалистов. Его имя как основателя науки о механике Земли было широко известно и почитаемо в Советском Союзе и за рубежом. Герой Социалистического Труда, вице-президент АН СССР, академик АН СССР А. Л. Яншин говорил, что Ж. С. Ержанов создал математическую основу количественного исследования тектонического развития Земли. Его механика тектонического развития Земли – суть установления движущих механизмов глобальных тектонических процессов как земного, так и космического происхождения, их синтеза и формирования лика Земли. Это относится и к его теории ползучести и наследственности, и теории складкообразования, и теории вращения Земли. Трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинских и Государственных премий СССР, академик АН СССР С. А. Христианович, высоко оценивая его результаты по динамике гравитационной неустойчивости, сказал: «Местом рождения математической тектоники является Алма-Ата. Причастен сюда Новосибирск, а коль скоро все это происходит в СССР, то, естественно, и Москва! Не-

обходимо расчетную часть этой теории довести до числа и вооружить ими геологов-поисковиков нефти и газа».

Сформированная Ж. С. Ержановым механика Земли была бы неполной без учета ее пространственных движений: вращения около собственной оси и орбитального обращения вокруг Солнца в гравитационном поле ньютоновских взаимодействий Луны, Солнца и планет Солнечной системы. Эти взаимодействия, названные ученым внешними силами космического происхождения, и силы инерции вращения Земли, названные им же внутренними объемными силами, наряду с силами взаимодействия внутренних слоев (физической природы) включены в естественные механизмы вышеописанных процессов. Они определяют фигуру Земли, ее внешний континентально-океанический лик, механизмы движения материков, раскрытия дна молодых океанов, горообразования, землетрясения,

Казахстанская наука вправе гордиться тем, что расчетный аппарат этой теории был принят в качестве Международного стандарта редукционных вычислений международными организациями: Астрономическим союзом, Бюро времени, Службой движения полюсов, Геодезическим и геофизическим союзом.

Ж. С. Ержанов – создатель оригинальной научной школы механики, воспитал плеяду учеников, многие из которых получили известность. Он автор более 350 индивидуальных и коллективных работ, включая 40 монографий, треть которых опубликована в зарубежных изданиях. Для творческой деятельности Ж. С. Ержанова была характерна забота о научных кадрах, им подготовлено более 90 кандидатов и около 50 докторов наук.

Научно-организационная работа Ж. С. Ержанова хорошо сочеталась с общественной. Он был членом генеральной ассамблеи Международного союза по теоретической и прикладной механике IUTAM, председателем Национального комитета РК по теоретической и прикладной механике, членом президиума Российского национального комитета по теоретической и прикладной механике, членом редакционного совета международного журнала «Прикладная механика» (издается в Киеве и Нью-Йорке), членом редколлегий других изданий.

Заслуги Ж. С. Ержанова в развитии науки и подготовке научных кадров отмечены орденом Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета», медалями СССР и ГДР, Почетной грамотой Верховного совета Республики Казахстан, Государственной премией Республики Казахстан, Дипломом Почета и медалями ВДНХ СССР.

Ж. С. Ержанов оставил исключительно глубокий след в геомеханической науке и практике. В честь его светлой памяти и больших деяний его ученики прилагают все силы, чтобы сохранился в нашей памяти образ выдающего ученого с мировым именем.

Маржан Байсановна НУРПЕИСОВА,
академик, доктор технических наук,
профессор КазННТУ имени К. И. Сатпаева,
член Союза писателей Казахстана

Гульдана МЕЙРАМБЕК,
академик, кандидат технических наук, профессор,
зав. кафедры маркшейдерского дела и геодезии
Satbayev University

Легендарный горняк, прославивший Сатпаевскую школу – Далабай Оспанович Ешпанов

В октябре 2026 года исполняется 100 лет со дня рождения Далабая Оспановича Ешпанова – выдающегося горного инженера, кандидата технических наук, лауреата Государственной премии СССР, заслуженного горняка СССР, одного из видных организаторов ГМК Казахстана. Более полувека его трудовой биографии было связано с крупнейшими предприятиями цветной металлургии страны – Жезказганом, Акчатау и Балхашом.

От Приаралья до рудников Сарыарки

Родившийся в 1926 году на берегах Сырдарьи, Далабай Оспанович Ешпанов посвятил всю сознательную жизнь служению и процветанию Казахстана.

Имя Далабай несет глубокий символический смысл: «дала» – степь, «бай» – богатство. Всей своей жизнью Далабай Оспанович Ешпанов оправдал это имя, став достойным сыном казахской земли и посвятив талант освоению природных богатств Сарыарки.

Молодой, но целеустремленный Далабай отправился в Алма-Ату и поступил в горный институт, о котором мечтал с детства. Во время учебы он слушал лекции ведущих специалистов и подружился с будущими известными государственными и общественными деятелями Шахмарданом Есеновым и Евнеем Букетовым, чьи имена впоследствии стали известны не только в Казахстане, но и во всем Советском Союзе. В течение пяти лет он глубоко постигал тонкости избранной профессии горного инженера-маркшейдера.

Сегодняшнее поколение, возможно, не знает, а представители старшего поколения хорошо помнят, что Далабай Ешпанов был одним из выдающихся специалистов, внесших огромный вклад в развитие горнодобывающей отрасли Казахстана. На выбор профессии юноши повлиял пример К. И. Сатпаева, мощное индустриальное развитие Жезказганского региона, а также природная любознательность и пытливість ума. Вместе с выдающимся сыном казахского народа, следуя примеру Каныша Сатпаева и продолжая традиции его научной школы, он принимал участие в изучении и освоении месторождений Казахстана.

Начав трудовую деятельность простым маркшейдером, он постоянно совершенствовал свое мастерство, перенимая опыт у признанных профессионалов. Благодаря трудолюбию и высоким организаторским качествам он последовательно занимал должности главного инженера, секретаря партийного комитета, начальника шахты и директора рудника.

Его имя хорошо известно всем горнякам, обогапителям и металлургам Балхаша и Жезказгана.

Далабай Оспанович жизнь посвятил развитию производства. Он прошел все ступени профессионального роста от участкового маркшейдера Жезказганского горно-металлургического комбината до руководителя крупнейших предприятий отрасли. Возглавлял Акчатауский горно-обогатитель-



ный комбинат, работал главным инженером Жезказганского горно-обогатительного комбината (ныне – корпорация «Казахмыс»).

На благодатной земле Казахстана рос и развивался инженерный талант Д. О. Ешпанова.

Балхашский период: время технического обновления

Балхашская трудовая эпопея Далабая Оспановича началась в 1980 году, когда Министерство цветной металлургии СССР назначило его директором Балхашского горно-металлургического комбината. Далабай Оспанович и на балхашской площадке сумел показать себя опытным, энергичным организатором производства. Стоит отметить, что 24 ноября 1938 года была получена первая балхашская медь. Этот день вошел в историю как день создания Балхашского медеплавильного завода.

В бытность его директором начался новый этап в истории Балхашского комбината.

Под его руководством были реконструированы производственные мощности комбината, внедрена автогенная технология плавки меди в жидкой ванне и завершено строительство комплекса ПЖВ-1. Именно благодаря его настойчивости была успешно внедрена печь Ванюкова – передовая для своего времени технология, которая используется в Балхаше и сегодня.

По этой технологии по сей день металлурги Балхаша плавят медь и отправляют на экспорт в ближнее и дальнее зарубежье.

Стремление познать все новое, передовое в науке и технике, позволило ему защитить диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, стать лауреатом Государственной премии СССР.

Все свои блистательные способности Д. О. Ешпанов отдал служению народу. За трудовые заслуги Далабай Ешпанов был награжден орденами Ленина, Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени и множеством других наград. За внедрение автогенной технологии плавки меди в жидкой ванне ему было присуждено звание лауреата Государственной премии СССР. Государство по достоинству оценило его вклад в развитие цветной металлургии страны, отметив званием «Заслуженный горняк СССР».

Инженер, руководитель, наставник

Занимая руководящие должности, Далабай Оспанович никогда не забывал о благополучии своих работников. В годы его руководства Акшатауским, Джезказганским и Балхашским горно-металлургическими комбинатами многие сотрудники получили жилье. Для улучшения условий жизни работников строились жилые дома, дворцы культуры, спортивные сооружения, медицинские учреждения и другие объекты социальной инфраструктуры.

Казахская мудрость гласит: «У хорошего человека много друзей». Исследуя богатства казахской земли и передавая их будущим поколениям, Далабай Ешпанов плечом к плечу трудился со своим наставником Канышем Сатпаевым, а также с Шахмарданом Есеновым, Евнеем Букетовым и другими



выдающимися деятелями, внося значительный вклад в развитие страны.

В книге воспоминаний «От правды не уйдешь» Динмухамед Кунаев высоко оценил деятельность ряда руководителей промышленности Казахстана, назвав их «проверенными в деле командирами промышленности». Среди них был и Далабай Оспанович Ешпанов. Высококвалифицированный специалист всегда востребован. Даже после выхода на пенсию он продолжил трудовую деятельность в корпорации «Казахмыс» в качестве главного эксперта. За годы работы воспитал множество учеников и способствовал их профессиональному становлению.

В этом году исполняется 100 лет со дня рождения легендарного горняка, прославившего Сатпаевскую школу, Далабая Оспановича Ешпанова. В память о выдающемся горном инженере в городе Балхаше на доме, где он жил, установлена мемориальная доска. Торжественное открытие состоялось 24 ноября – в день, когда в 1938 году была получена первая балхашская черновая медь, ставшая символом рождения отечественной цветной металлургии. В памятном мероприятии приняли участие ветераны отрасли, представители предприятий и организаций города, сотрудники ТОО «Казахмыс Smelting», родные, близкие и ученики Далабая Оспановича.

В 2026 году исполняется 100 лет со дня рождения Далабая Оспановича Ешпанова — легендарного горняка, учёного и организатора производства, достойного представителя Сатпаевской школы. К этой знаменательной дате в КазННТУ имени К. И. Сатпаева планируется открытие именной аудитории Д. О. Ешпанова, а также проведение совместно с его учениками и последователями международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня его рождения.

Жизненный путь Далабая Оспановича Ешпанова – это часть истории индустриального Казахстана. Он принадлежал к той плеяде горных инженеров, которые продолжили дело Каныша Сатпаева, создавая промышленный потенциал страны не только знаниями и инженерным талантом, но и личной ответственностью за производство, коллектив и будущее отрасли. Память о таких людях – это не только дань прошлому, но и важный нравственный и профессиональный ориентир для новых поколений казахстанских горняков.

Маржан Байсановна Нурпенсова,
академик, доктор технических наук,
профессор КазННТУ имени К. И. Сатпаева,
член Союза писателей Казахстана

Ерлан Валерьевич Смайлов,
инженер-металлург,
депутат Мажилиса Парламента РК,
внук Ешпанова Д.О.

Знание, опыт, ответственность за дело – жизненное кредо Виктора Хайкова

Виктор Трофимович Хайков родился в 1951 году в Брянской области. Когда ему исполнилось 17 лет, поступил в Казахский политехнический институт имени В. И. Ленина и окончил его в 1973 году по специальности «горный инженер-маркшейдер». Трудовую деятельность начал в должности участкового маркшейдера рудника «Валькумей» Певекского ГОКа на Чукотке. В 1977–1979 годах работал старшим маркшейдером объединения «Северовостокзолото».

С 1979 года по настоящее время – главный маркшейдер Васильковского ГОКа, ныне АО Altyntau Kokshetau («Алтынтау Кокшетау»). Ему выпала большая честь забить первый колышек на Васильковском карьере. В. Т. Хайков на всех участках работы проявил себя умелым и инициативным организатором производства, специалистом высокой квалификации. Возглавляемая им маркшейдерская служба всегда добивалась высоких показателей. Он многое делал для укомплектования службы современными маркшейдерскими приборами, в основном швейцарского производства фирмы Leica, и повышения эффективности производства.

Под руководством В. Т. Хайкова было внедрено в производственные процессы современное маркшейдерское оборудование: лазерные тахеометры TC-407, система GPS.

По его инициативе в 2009 году на промышленной площадке рудника «Алтынтау Кокшетау» была установлена автоматическая система призмного мониторинга бортов карьеров Leica GeoMoS. Данная система призвана повысить безопасность ведения горных работ за счет повышения качества и производительности мониторинга бортов карьера. Он инициировал внедрение 3D-моделирования при планировании горных работ с помощью ГИС Surpac. В настоящее время на карьере рудника «Алтынтау Кокшетау» установлены три георадара. Данная система из радаров в круглосуточном режиме с периодичностью две минуты сканирует весь периметр карьера для определения зон деформаций с использованием программного обеспечения Guardian FPM-360 (от английского «Full Pit Monitoring» – «мониторинг всего карьера») и в режиме реального времени передает данные на информационный монитор, установленный у диспетчера рудника, для заблаговременного предупреждения о возможном обрушении, где в случае превышения уровня допустимых деформаций срабатывает тревога.

По его инициативе на «Алтынтау Кокшетау» в 2018 году создана геотехническая служба, которая в настоящее время состоит из десяти специалистов: главного геотехника, главного специалиста по мониторингу, четырех ведущих инженеров-геотехников по мониторингу, ведущего инженера-геотехника, инженера-геотехника и двух ведущих инженеров-гидрогеологов.

С 2019 года используется специальное программное обеспечение Sirovision Datamine для 3D-картирования трещиноватости бортов карьера по фотографиям без непосредственного подхода к бортам карьера. В 2025 году с учетом



результатов картирования и данных геотехнического бурения актуализирована литолого-структурная модель месторождения силами компании Test (ЮАР). Работы в данном направлении проводятся на регулярной основе.

В целях обеспечения устойчивости бортов карьера и управления геотехническими рисками на месторождении реализуется комплексная программа гидрогеологического мониторинга и водопонижения. Для мониторинга порового давления в прибортовых участках карьера в 2019–2023 годах установлены струнные пьезометры в шести гидрогеологических скважинах (SRK1,2,3 и KGG1,2,3). С привлечением компании SRK Consulting (Москва) была разработана цифровая геофильтрационная гидрогеологическая 3D-модель в программе Visual MODFLOW Flex.

За время работы в Васильковском ГОК, начиная 1979 года, Виктор Трофимович внес большой вклад в развитие отраслевой и отечественной маркшейдерии, зарекомендовал себя в ТО «Алтынтау Кокшетау» как высококвалифицированный специалист горного дела, талантливый организатор и руководитель.

Совместно с другими специалистами В. Т. Хайков принимал активное и непосредственное участие в создании новой сырьевой базы свинцово-цинковой отрасли страны – строительстве горнодобывающего предприятия на базе крупнейшего Васильковского месторождения.



В. Т. Хайков знакомит научных сотрудников Казахского национального исследовательского университета имени К. И. Сатпаева с работой георадарной мониторинговой системой, 2026 г.

Эффективная работа созданного под его руководством специализированного бюро маркшейдерских работ на карьере позволила поставить маркшейдерию на высокий уровень. За годы трудовой деятельности важнейшей заслугой В. Т. Хайкова стало воспитание десятков молодых специа-

листов-маркшейдеров – будущих командиров производства.

Как член ЦК Союза маркшейдеров Казахстана маркшейдер Виктор Трофимович Хайков знаменит не только тем, что забивал первые колышки под все объекты на бывшем Васильковском ГОКе. Когда он приехал сюда в 1979 году, здесь было чистое место, ровная степь. И это он внедрил здесь современное маркшейдерское оборудование. По его инициативе установлена станция для непрерывного мониторинга состояния откосов, уступов и бортов карьера. Он также инициировал внедрение 3D-моделирования при планировании горных работ. Коллеги не сомневаются в его высоком профессионализме, любят за тонкое чувство юмора.

Многолетний добросовестный труд отмечен почетными грамотами, благодарственными письмами. Виктор Трофимович Хайков – полный кавалер нагрудного знака «Еңбек даңқы».

75-летний юбилей Виктора Трофимовича Хайкова – это более полувека служения избранной профессии, огромный производственный опыт и целая эпоха в истории маркшейдерской службы Васильковского ГОКа – АО «Altyntau Kokshetau».

Желаем Виктору Трофимовичу крепкого здоровья, благополучия, неиссякаемой энергии и долгих лет жизни!

**Редакция журнала
«Маркшейдерия и недропользование»**

Исследование влияния деятельности горно-металлургического комплекса на подземные воды и пути решения экологических проблем

К. Б. Рысбеков¹, С. Б. Шерубай¹, Е. С. Ауелхан¹,
Д. Сагин², О. Байтурбай^{1✉}

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

²Школа информационных технологий и инженерии,
Западно-Мичиганский университет (WMU), г. Каламазу, Мичиган, США

✉ o.baiturbay@satbayev.university

Резюме. Исследованы основные источники загрязнения водных ресурсов Республики Казахстан, включая подземные воды. Целью исследования является изучение загрязнения водных ресурсов тяжелыми металлами, обусловленного деятельностью ряда горно-обогатительных предприятий, расположенных на побережье озера Балхаш, а также разработка подхода к предотвращению загрязнения на основе дистанционного контроля. Предложен способ дистанционного мониторинга загрязнения водных ресурсов, позволяющий осуществлять непрерывный контроль состояния подземных вод. Результаты исследований внедрены на горнодобывающих предприятиях Казахстана и используются в образовательном процессе Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева.

Ключевые слова: водные ресурсы, загрязнение воды, вредные вещества, источники загрязнения, дистанционный мониторинг

Благодарность. Авторы выражают искреннюю благодарность специалистам БОФ за предоставленные материалы, содействие в проведении исследований и помощь при выполнении полевых наблюдений.

Для цитирования: Рысбеков К.Б., Шерубай С.Б., Ауелхан Е.С., Сагин Д., Байтурбай О. Исследование влияния деятельности горно-металлургического комплекса на подземные воды и пути решения экологических проблем. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 13-18. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-13-18>.

Study of the impact of the mining and metallurgical complex on groundwater and ways to address environmental problems

K. B. Rysbekov¹, S. B. Sherubai¹, E. S. Auelkhan¹,
J. Sagin², O. Baiturbay^{1✉}

¹Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

²School of Information Technology and Engineering,
Western Michigan University (WMU), Kalamazoo MI, USA

✉ o.baiturbay@satbayev.university

Abstract. The article investigates the main sources of water resource pollution in the Republic of Kazakhstan, including groundwater. The aim of the study is to examine the contamination of water resources by heavy metals resulting from the activities of several mining and ore-processing enterprises located along the shore of Lake Balkhash, and to develop an approach for pollution prevention based on remote monitoring technologies. A remote monitoring method for water resource contamination has been proposed, enabling continuous control of groundwater quality and condition. The research results have been implemented at mining enterprises in Kazakhstan and are used in the educational process at Satbayev University.

Keywords: water resources, water pollution, hazardous substances, pollution sources, remote monitoring

Gratitude. The authors express their sincere gratitude to the BOF specialists for the materials provided, assistance in conducting research and assistance in performing field observations.

For citation: Rysbekov K.B., Sherubai S.B., Auelkhan E.S., Sagin J., Baiturbay O. Study of the impact of the mining and metallurgical complex on groundwater and ways to address environmental problems. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 13-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-13-18>.

Введение

Устойчивое существование человека и природной среды напрямую связано с обеспечением чистой водой. Тяжелые металлы относятся к числу неразлагаемых загрязнителей с длительным периодом сохранения в окружающей среде. Их воздействие представляет опасность как для живых организмов, так и для человека [1, 2], что делает данную проблему одной из наиболее серьезных экологических угроз во многих регионах мира [3]. Оценка риска, основанная на концентрациях тяжелых металлов в водных объектах, проводилась в различных странах, включая Китай [4], Индию [5] и другие государства. Загрязнение водных ресурсов тяжелыми металлами является распространенной проблемой в Казахстане [6] и ставит под угрозу хрупкую региональную экосистему вокруг крупнейшего бессточного озера Балхаш. Сельскохозяйственные пестициды были обнаружены в водопроводе и почвах в нескольких деревнях региона, как и тяжелые металлы в городских почвах. Балхашский обогатительный комбинат, расположенный на берегу озера, приводит к загрязнению тяжелыми металлами, причем кадмий и свинец уже есть и представляют серьезную опасность [7].

В Казахстане горно-металлургический комплекс (ГМК) является одной из ведущих отраслей промышленности, обеспечивающей добычу и переработку полезных ископаемых. Однако деятельность предприятий ГМК оказывает значительное воздействие на окружающую среду, в том числе на подземные воды. Загрязнение подземных вод представляет серьезную экологическую проблему, поскольку они являются важным источником питьевого и хозяйственного водоснабжения.

Основными источниками загрязнения подземных вод в районах горно-металлургической деятельности являются:

- шахтные и карьерные воды;
- хвостохранилища и отвалы;
- пруды-испарители;
- атмосферные осадки, проходящие через загрязненные территории;
- отходы металлургического производства.

В связи с этим **актуальным является исследование степени** воздействия ГМК на гидрогеологическую среду и ведение дистанционного мониторинга для оперативной оценки качества подземных вод.

Цель проводимых исследований – изучение техногенного загрязнения подземных вод на территории озера Балхаш и разработка экономичного, доступного способа экспресс-оценки суммарного индекса их загрязнения.

Объект и методы исследования подземных вод

Объектом исследования является Балхаш-Алакольский водохозяйственный бассейн, формирующий единую гидрологическую систему засушливой юго-восточной части Казахстана. Данные водные ресурсы имеют важное экологическое, хозяйственное и стратегическое значение, обеспечивая водоснабжение населения, промышленности и сельскохозяйственного сектора региона.

На современное состояние поверхностных и подземных вод существенное влияние оказывает техногенная деятель-

ность Балхашская обогатительная фабрика «Корпорация Kazakhmys» и хвостохранилища Актогайского ГОКа KAZ Minerals, расположенные в северной части озера Балхаш. В процессе горно-металлургического производства образуются отходы, содержащие тяжелые металлы и другие загрязняющие вещества, способные мигрировать как в поверхностные, так и в подземные воды [8, 9].

Одним из загрязнителей водных ресурсов является Балхашская обогатительная фабрика (БОФ) «Корпорация Kazakhmys», расположенная в северной части озера Балхаш. Кроме того, в южной части озера стоит первая АЭС «Балхаш», а в западной стороне расположен Акбакайский золоторудный район, деятельность которого также рассматривается как потенциальный источник загрязнения окружающей среды и водных объектов (рис. 1).

Таким образом, объект исследования включает поверхностные и подземные воды Балхаш-Алакольского бассейна, а также природно-техногенные процессы, формирующие экологическое состояние данной территории.



Рис. 1. Расположение Балхашской обогатительной фабрики, Акбакайского золоторудного района и АЭС «Балхаш» / Fig. 1. Location of the BOF, Akbakai gold mining district and Balkhash NPP

Методы исследования

Традиционно контроль качества подземных вод осуществлялся путем еженедельного, ежемесячного или ежеквартального отбора проб из каждой наблюдательной скважины с последующей транспортировкой образцов в лабораторию и их анализом по стандартным методикам. В настоящем исследовании в качестве альтернативного подхода предлагается метод экспресс-анализа загрязнения подземных вод. Основными преимуществами данного метода являются высокая скорость получения результатов, низкая стоимость проведения исследований, возможность осуществления мониторинга в режиме реального времени, а также мобильность используемого оборудования.

Мониторинг водных ресурсов

Источники загрязнения

В результате добычи и переработки месторождений полезных ископаемых подземные воды загрязняются. Источники загрязнения подземных вод приведены в таблице.

Таблица / Table

**Основные виды загрязнителей /
The main types of pollutants**

Загрязнитель	Источник	Воздействие
Тяжелые металлы (Pb, Cd, Zn, Cu, Hg)	Рудники, хвостохранилища	Токсичность, накопление в организме
Сульфаты	Окисление сульфидных минералов	Повышение минерализации
Нефтепродукты	Техника и транспорт	Ухудшение качества воды
Кислотные стоки	Шахтные воды	Изменение pH
Цианиды и реагенты флотации	Обогатительные фабрики	Высокая токсичность

В результате загрязнения снижается способность вод к насыщению кислородом, парализуется деятельность бактерий, минерализующих органические вещества. Все эти причины приводят к сильному загрязнению воды, особенно в замкнутых бассейнах-озерах. Промышленные сточные воды в Казахстане в основном загрязнены отходами и выбросами горнодобывающих и горно-обогатительных производств. Этому вопросу уделено особое внимание в Водном кодексе и Законе Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» [10].

Вопрос строительства АЭС в Казахстане уже решен. В настоящее время решается проблема, что мы охраняем от деятельности горно-металлургических комплекса и радиационного влияния будущей АЭС. В первую очередь это жемчужина Казахстана – озеро Балхаш и прилегающие природные ресурсы. Во-вторых, разведанные в свое время К. И. Сатпаевым и включенные в металлогеническую карту Казахстана и оставленные нынешнему поколению минеральные ресурсы. Это меднорудные месторождения Центрального Казахстана, золоторудная Акбакайская зона (рис. 2), прилегающая к АЭС [11].



Рис. 2. Акбакайская золоторудная зона /
Fig. 2. Akbakai gold mining zone

**Мониторинг состояния подземных вод
в зоне влияния хвостохранилища**

Балхашская обогатительная фабрика расположена в 3 км от ближайших населенных пунктов. Хвостохранилище, эксплуатируемое с 1937 года, находится на северо-западном побережье озера Балхаш и примыкает к заливу Торангалык. Общий объем накопленных отходов превысил 428 млн тонн.

Для контроля состояния подземных вод по периметру хвостохранилища оборудована сеть из 10 наблюдательных скважин, в которых традиционно проводится ежеквартальный мониторинг. Анализ гидрохимического состава показал, что концентрации меди, хрома, цинка и мышьяка в жидкой фазе хвостов не превышают нормативных значений, однако превышают их содержание в подземных водах санитарно-защитной зоны. Наибольшему риску загрязнения подвержен первый от поверхности водоносный горизонт, используемый населением при отсутствии централизованного водоснабжения [12].

Обзорная карта-схема расположения Балхашской обогатительной фабрики ПО «Балхашцветмет» представлена на рисунке 3.



Рис. 3. Обзорная карта-схема расположения
Балхашской обогатительной фабрики /
Fig. 3. Overview map-layout of the Balkhash processing plant

Для повышения эффективности экологического контроля в Казахском национальном исследовательском техническом университете имени К. И. Сатпаева разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК) дистанционного мониторинга подземных вод (рис. 4). Комплекс включает сеть наблюдательных скважин с погружными многопараметрическими датчиками, контроллерами, беспроводной связью LoRaWAN, базовой станцией, сервером обработки данных и автоматизированной системой оповещения. ПАК обеспечивает непрерывный сбор, передачу, обработку и визуализацию информации в режиме реального времени, исключает ручной сбор данных, повышает точность и оперативность мониторинга, а также позволяет своевременно выявлять изменения гидрохимического состояния подземных вод в соответствии с требованиями Экологического кодекса Республики Казахстан [13].

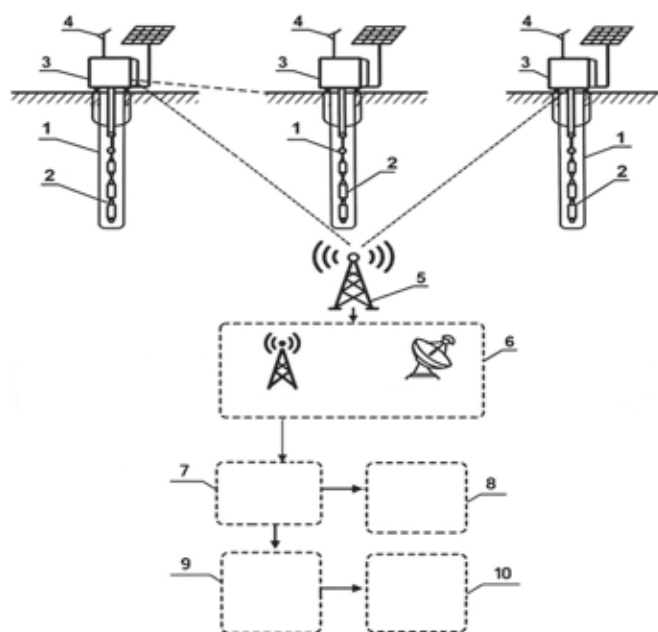


Рис. 4. Структурная схема способа экспресс-оценки загрязнения подземных вод: 1 – наблюдательные скважины; 2 – погружные датчики; 3 – контроллеры сбора и обработки данных; 4 – модули беспроводной связи; 5 – базовая станция; 6 – коммуникационный модуль передачи данных; 7 – сервер обработки данных; 8 – программный модуль анализа данных; 9 – пользовательский интерфейс; 10 – автоматизированная система оповещения /

Fig. 4. Block diagram of a method for rapid assessment of groundwater pollution: 1 – observation wells; 2 – submersible sensors; 3 – data acquisition and processing controllers; 4 – wireless communication modules; 5 – base station; 6 – communication module for data transmission; 7 – data processing server; 8 – software analysis module; 9 – user interface; 10 – automated notification system

Результаты и обсуждение

Разработанный программно-аппаратный комплекс (ПАК) дистанционного мониторинга подземных вод представляет собой интегрированную систему, обеспечивающую непрерывный контроль их состояния в режиме реального времени. В состав комплекса входят наблюдательные скважины, оснащенные автономными измерительными модулями. Каждый модуль включает погружной многопараметрический зонд, контроллер сбора и предварительной обработки данных, модуль беспроводной связи стандарта LoRaWAN и автономный источник питания.

Контроллер обеспечивает периодический опрос датчиков, предварительную обработку и буферное хранение измерительной информации, а также передачу данных по радиоканалу. Информация от всех наблюдательных скважин

поступает на базовую станцию (LoRaWAN-шлюз), где осуществляется ее прием, агрегация и последующая передача на удаленный сервер посредством каналов связи GSM, 4G или спутниковой связи. Сервер выполняет функции хранения, обработки, анализа и визуализации полученных данных, что позволяет оперативно оценивать состояние подземных вод и своевременно выявлять возможные отклонения [14, 15].

В соответствии с требованиями Экологического кодекса Республики Казахстан мониторинг подземных вод организован на участках потенциального техногенного воздействия. Контроль осуществляется на глубине залегания первого от поверхности водоносного горизонта, преимущественно в верхнечетвертичных отложениях и зоне открытой трещиноватости пород палеозойского возраста в пределах производственной инфраструктуры.

Мониторинг воздействия на водные ресурсы осуществляется непрерывно с использованием сети наблюдательных скважин. В районе эксплуатации хвостохранилища функционируют десять наблюдательных скважин, расположенных по его периметру на границе санитарно-защитной зоны. Полученные данные позволяют проводить постоянный контроль гидрохимического состояния подземных вод и своевременно выявлять возможные изменения их качества.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что деятельность предприятий ГМК оказывает существенное влияние на состояние подземных вод. Наибольшую экологическую опасность представляют загрязнение тяжелыми металлами, кислотный дренаж и повышение минерализации подземных вод. В связи с этим особое значение приобретает внедрение современных автоматизированных систем мониторинга, обеспечивающих непрерывный контроль гидрогеохимических показателей и оперативное выявление загрязнений.

2. Установлено, что основные очаги загрязнения приурочены к зонам размещения объектов горнодобывающей инфраструктуры. На исследуемой территории к наиболее значимым источникам техногенного воздействия относятся БОФ, объекты добычи полезных ископаемых, отвалы вскрышных пород и несанкционированные свалки. Полученные результаты свидетельствуют о стабильном характере воздействия крупных источников загрязнения во времени.

3. Эффективная защита подземных вод возможна только при комплексном подходе, включающем внедрение современных технологий очистки сточных вод, совершенствование систем дистанционного экологического мониторинга, соблюдение природоохранных требований и проведение рекультивационных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Mohammadi A.A., Zarei A., Esmailzadeh M., et al. Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risks Assessment in Soils Around an Industrial Zone in Neyshabur, Iran. *Biological Trace Element Research*. 2020; 195 (1): 343-352. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01816-1>.
2. Shokr M.S., Abdellatif M.A., El Behairy R.A., et al. Assessment of Potential Heavy Metal Contamination Hazards Based on GIS and Multivariate Analysis in Some Mediterranean Zones. *Agronomy*. 2022; 12 (12): 3220. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123220>.
3. Rajendran S., Priya T.A.K., Khoo K.S., et al. A Critical Review on Various Remediation Approaches for Heavy Metal Contaminants Removal from Contaminated Soils. *Chemosphere*. 2022; 287: 132369. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132369>.
4. Qin Y., Tao, Y. Pollution status of heavy metals and metalloids in Chinese lakes: Distribution, bioaccumulation and risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022; 248 (2): 114293. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114293>.
5. Kumar A., Saxena P., Kisku G.C. Heavy Metal Contamination of Surface Water and Bed-Sediment Quality for Ecological Risk. Assessment of Gomti River, India. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2023; 37: 3243-3260. <https://doi.org/10.1007/s00477-023-02447-8>.
6. Жирков В. Мониторинг подземных вод бассейна Балхаша; ТОО «Биосфера Казахстан». Караганда, 2019.

- Zhirkov V. Monitoring of groundwater in the Balkhash basin; Biosphere Kazakhstan LLP. Karaganda, 2019. (In Russ.).
7. Алимбаев Д.У., Омарова Б., Тулеубаева С., и др. Экологические проблемы водных ресурсов в Казахстане. В материалах веб-конференций E3S, Нальчик, Россия, 18–19 марта 2021 г. 2021; 244: 01004.
Alimbayev D.U., Omarova B., Tuleubayeva S., et al. Environmental problems of water resources in Kazakhstan. In the materials of the E3S web conferences, Nalchik, Russia, March 18–19, 2021. 2021; 244: 01004. (In Russ.).
 8. Muratkhanov D., Mirlas V., Anker Y., et al. Heavy metal transport reduction in groundwater from tailings storage of a beneficiation plant at Lake Balkhash, Kazakhstan. *Sustainability*. 2024; 16: 6816. <https://doi.org/10.3390/su16166816>.
 9. Смоляр В.А., Буров Б.В., Мустафаев С.Т. Подземные воды Казахстана: обеспеченность и использование. Караганда, 2012: 402.
Smolyar V.A., Burov B.V., Mustafaev S.T. Underground waters of Kazakhstan: availability and use. Karaganda, 2012: 402. (In Russ.).
 10. Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» от 27.12.2017 г. № 125-VI ЗРК (с изм. и доп.). Астана, 2017.
Code of the Republic of Kazakhstan «On Subsoil and Subsoil Use», No. 125-VI LRK, dated December 27, 2017 (as amended and supplemented). Astana, 2017. (In Russ.).
 11. Nurpeisova M., Menayakov K., Aitkazinova Sh., et al. Environmental and industrial safety of subsurface development near a nuclear power plant. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan, series of Geology and technical sciences*. 2026; 1 (475): 231-246. <https://doi.org/10.32014/2026.2518-170X.601>.
 12. Отчет «Реконструкция дренажного канала № 1 с устройством вертикального дренажа на хвостохранилище цеха складирования хвостов Балхашской обогатительной фабрики (БОФ)». Караганда, ТОО НИЦ «Биосфера Казахстана», 2016: 185.
Report «Reconstruction of drainage channel No. 1 with vertical drainage at the tailings storage facility of the Balkhash Processing Plant (BOF)». Karaganda, SIC «Biosphere of Kazakhstan» LLP, 2016: 185. (In Russ.).
 13. Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК (с изм. и доп.). Нур-Султан; Астана, 2021.
Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021 No. 400-VI SAM (as amended and supplemented). Nur-Sultan; Astana, 2021. (In Russ.).
 14. Заявка на патент РК № 2026-46515. Способ дистанционного мониторинга загрязнения подземных вод (авторы: Нурпеисова М.Б., Ауелхан Е.С., Байтурбай О., Нукарбекова Ж.М.).
Application for the patent of the Republic of Kazakhstan No. 2026-46515. A method for remote monitoring of groundwater pollution (authors: Nurpeisova M.B., Auelkhan E.S., Bayturbai O., Nukarbekova Zh.M.). (In Russ.).
 15. Байтурбай О., Ауелхан Е.С., Нурпеисова М.Б. Загрязнение водных ресурсов – главная проблема рационального природопользования в Казахстане. *Молодой ученый*. 2026; 10.1 (613.1): 12-15.
Baiturbay O., Auelkhan E.S., Nurpeisova M.B. Pollution of water resources is the main problem of rational use of natural resources in Kazakhstan. *A young scientist*. 2026; 10.1 (613.1): 12-15. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Канай Бахытович Рысбеков –

канд. техн. наук, профессор, директор горно-металлургического института, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Сауле Балгаевна Шерубай –

магистр наук, проректор по академическим вопросам, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0009-0009-5093-899X>

Ергали Сатышулы Ауелхан –

канд. техн. наук, профессор, директор института нефти и газа, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Джей Сагин –

PhD., профессор, профессор кафедры геоматической инженерии, Школа информационных технологий и инженерии (SITE), Западный Мичиганский университет (WMU), г. Каламазу, Мичиган, США; <https://orcid.org/0000-0002-0386-888X>

Орынбасар Байтурбай –

докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0002-7654-2610>; e-mail: o.baiturbay@satbayev.university

ABOUT THE AUTHORS

Kanai B. Rysbekov –

Cand. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Saule B. Sherubay –

MSc, Vice-Rector for Academic Affairs, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0009-5093-899X>

Yergali S. Auelkhan –

Cand. Sci. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Oil and Gas, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Jay Sagin –

PhD., Professor, Geomatics Engineering, School of Information Technology and Engineering (SITE), Western Michigan University (WMU), Kalamazoo MI, USA; <https://orcid.org/0000-0002-0386-888X>

Orynbasar Baiturbay –

PhD student, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-7654-2610>; e-mail: o.baiturbay@satbayev.university

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.07.2026

Поступила после рецензирования: 28.07.2026

Принята к публикации: 11.08.2026

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 15.07.2026

Revised: 28.07.2026

Accepted: 11.08.2026

Состояние и перспективы маркшейдерского обеспечения АО «Altyntau-Kokshetau»

В. Т. Хайков^{1✉}, А. Д. Исенов¹, Е. Ж. Ормамбеков², Р. В. Шульц³

¹АО «Altyntau-Kokshetau», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

²Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан

✉ Viktor.Khaikov@altyntau.com

Резюме. Представлено описание маркшейдерско-геодезических работ, отвечающих современному уровню развития координатной основы. Подчеркивается важность совершенствования методов оценки, прогноза и контроля деформированного состояния массива горных пород. Показана оригинальная технология наблюдений за деформациями земной поверхности на подрабатываемых территориях, позволяющая получать пространственное положение мульды сдвижения.

Ключевые слова: месторождение, освоение, маркшейдерская служба, современные приборы, научные работы

Для цитирования: Хайков В.Т., Исенов А.Д., Ормамбеков Е.Ж., Шульц Р.В. Состояние и перспективы маркшейдерского обеспечения АО «Altyntau-Kokshetau». *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 19-23. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-19-23>.

Current status and prospects of mine surveying support at Altyntau-Kokshetau JSC

V. T. Khaikov^{1✉}, A. D. Isenov¹, E. Zh. Ormambekov², R. V. Shults³

¹Altyntau-Kokshetau JSC, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan

²Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ Viktor.Khaikov@altyntau.com

Abstract. This paper presents an overview of mine surveying and geodetic operations that meet the current standards for the development of coordinate reference frameworks. The importance of improving methods for the assessment, prediction, and monitoring of the deformation state of rock masses is emphasized. An original technology for monitoring ground surface deformations in undermined areas is presented, enabling the determination of the three-dimensional geometry and spatial position of the subsidence trough.

Keywords: mineral deposit, mining development, mine surveying service, modern surveying instruments, scientific research

For citation: Khaikov V.T., Isenov A.D., Ormambekov E.Zh., Shults R.V. Current status and prospects of mine surveying support at Altyntau-Kokshetau JSC. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 19-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-19-23>.

Введение

Минерально-сырьевой комплекс является одной из ключевых отраслей экономики Республики Казахстан и играет важную роль в обеспечении устойчивого развития страны. Казахстан занимает лидирующие позиции в мире по запасам и добыче ряда стратегических полезных ископаемых, включая хромиты, уран, титан, цинк, медь, железные руды, нефть и уголь. В настоящее время открывая разработка месторождений осуществляется более чем на 50 крупных горнодобывающих предприятиях, среди которых одним из крупнейших объектов является золото-

рудное месторождение Васильковское, разрабатываемое АО «Altyntau Kokshetau» [1–3].

Увеличение глубины карьеров, усложнение горно-геологических условий и рост производительности горных работ предъявляют повышенные требования к точности маркшейдерско-геодезического обеспечения. Современная маркшейдерская служба выполняет не только традиционные задачи геометрического сопровождения горных работ, но и обеспечивает пространственное моделирование месторождения, оперативное управление производственными процессами, контроль объемов добычи, мониторинг устойчивости бортов

карьера и информационную поддержку принятия инженерных решений.

Важнейшим направлением развития маркшейдерского обеспечения является внедрение цифровых технологий, основанных на использовании глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS), роботизированных электронных тахеометров, беспилотных летательных аппаратов, лазерного сканирования и специализированных программных комплексов для трехмерного моделирования горных объектов. Интеграция современных измерительных технологий с геоинформационными системами позволяет повысить оперативность получения пространственной информации, обеспечить высокую точность измерений и существенно снизить влияние человеческого фактора.

Цель работы – анализ современного состояния маркшейдерского обеспечения открытых горных работ на примере АО «Altyntau Kokshetau» и оценка эффективности применения современных цифровых технологий при выполнении производственных маркшейдерских работ.

Результаты и обсуждение

АО «Altyntau Kokshetau» является крупнейшим золотодобывающим предприятием Республики Казахстан, осуществляющим разработку Васильковского месторождения открытым способом. Диаметр карьера по верхним горизонтам достигает 1000–1200 м, фактическая глубина составляет около 495 м (при проектной глубине 540 м). Значительные размеры карьера и интенсивность ведения горных работ требуют непрерывного высокоточного геодезического сопровождения всех технологических процессов.

Общий вид карьера приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Карьер «Altyntau-Kokshetau» / Fig. 1. Altyntau-Kokshetau quarry

Инвестиционный проект АО «Altyntau Kokshetau», финансируемый «Казцинком» на сумму более 700 млн долларов США, продлит эксплуатацию Васильковского месторождения до 2039 года. Модернизация предусматривает переход к гибридной модели добычи, углубление карьера до 680 метров и запуск подземного рудника, что обеспечит стабильную работу предприятия и создание новых рабочих мест (рис. 2).

АО «Altyntau-Kokshetau», как другие предприятия вне зависимости от своих масштабов, имеет маркшейдерскую службу, представленную самостоятельным производственным отделом. Наличие этой службы связано с необходимостью квалифицированного решения сложных и ответственных задач горного производства [4–6].

Основными задачами маркшейдерской службы предприятия являются:

- создание и поддержание опорной маркшейдерской сети;
- геодезическое обеспечение ведения открытых горных работ;
- регулярная съемка уступов, рабочих площадок, отвалов и рудных складов;
- подсчет объемов добытой руды и вскрышных пород;
- обеспечение буровзрывных работ;
- пространственное моделирование месторождения;
- мониторинг деформаций бортов карьера.

На месторождении имеется государственная опорная триангуляционная сеть, от которой в предыдущие годы развито съемочное обоснование достаточной плотности. Базисом триангуляционной сети являются пункты 3-го класса «Коньспай» – «Жанаузек». Кроме того, на предприятии установлена базовая станция GNSS, позволяющая производить съемочные маркшейдерские работы с точностью плюс-минус 19 мм.

Особое внимание уделяется оперативности получения пространственной информации. Маркшейдерские съемки выполняются еженедельно, а съемка добычных забоев осуществляется ежедневно с последующей передачей данных в службу рудного контроля для оперативного управления добычей.

Для выполнения производственных задач предприятие оснащено современным высокоточным оборудованием Leica Geosystems, включающим электронные тахеометры Leica (TC-407 – 3 шт., TC-1200, TS-15), GNSS-приемники фирмы Leica (GS10, GS14, GS18, GS18T), цифровые нивелиры, стационар-

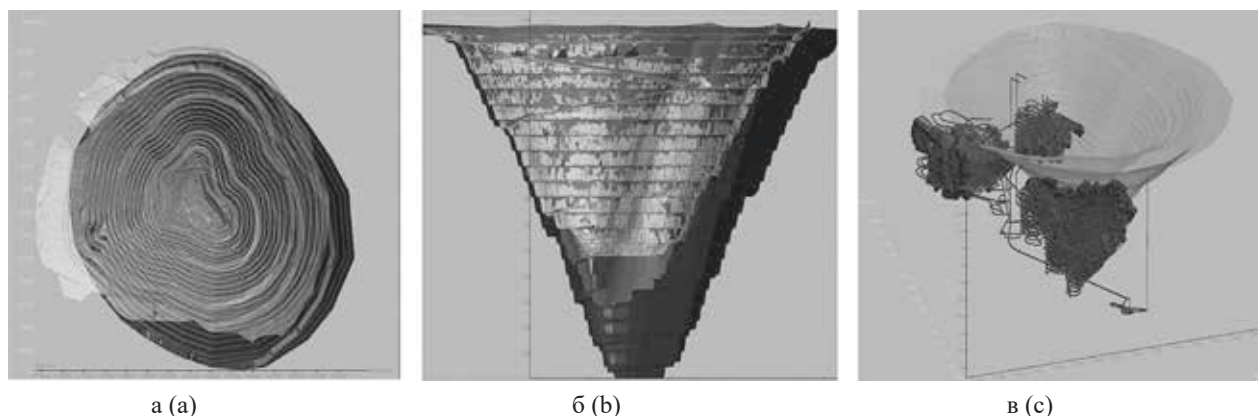


Рис. 2. Перспектива развития горных работ на Васильковском месторождении: а – план карьера; б – карьер в разрезе; в – развитие горных работ подземным способом /

Fig. 2. A perspective on the development of mining operations at the Vaskovskoye deposit:
a – quarry plan; b – quarry cross-section; c – underground mining development

ные и мобильные базовые станции спутниковых измерений, лазерные сканеры, беспилотные летательные аппараты.

В АО «Altyntau Kokshetau» наземный лазерный сканер RIEGL VZ-2000i (рис. 3а) применяется для высокоточного маркшейдерского контроля открытых горных работ и бесконтактного 3D-моделирования карьера [7–9].

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) направлено на автоматизацию маркшейдерских работ, мониторинг карьеров и обеспечение промышленной безопасности (рис. 3б). Промышленные беспилотники позволяют оперативно получать высокоточные 3D-модели местности, рассчитывать объемы добытой горной массы и контролировать состояние отвалов без риска для здоровья сотрудников. Полученные данные обрабатываются в специализированных программных комплексах SURPAC, DATAMINE, Micromine и AutoCAD, обеспечивающих создание цифровых моделей месторождения и ведение цифровой маркшейдерской документации.

Контроль за ведением уровней горизонтов осуществляет сменными мастерами с помощью лазерных уровней Leica RUGBY 200, 300. Для контроля за уровнем формирования отвалов используются лазерные сканеры (рис. 3в), передвижные репера (рис. 3г), электронные тахеометры (рис. 3д) и GNSS-технология (рис. 3е).

Особое значение имеет геодезическое сопровождение буровзрывных работ. Перед разработкой каждого бурового блока выполняется топографическая съемка участка, по результатам которой формируется цифровая модель поверхности. На основании полученной модели разрабатывается проект бурения, после чего в натуре выносятся проектные координаты каждой скважины. После завершения бурения производится исполнительная съемка блока и оформляется паспорт взрыва.

Одним из перспективных направлений развития маркшейдерского обеспечения является внедрение автоматизированной системы диспетчеризации Wenco. Использование GNSS-позиционирования на буровых станках, экскаваторах и карьерных самосвалах позволяет интегрировать проектные данные непосредственно в бортовые компьютеры технологического оборудования. Благодаря этому обеспечивается автоматическое позиционирование буровых станков относительно проектных координат скважин, существенно сокращается объем традиционных разбивочных работ и повышается точность выполнения бурения [10–12].

Использование навигационных систем на экскаваторах позволяет оператору в режиме реального времени контролировать положение рудных контуров, отображаемых на цифровой модели месторождения, что способствует снижению



а (a)



б (b)



в (c)



г (d)



д (e)



е (f)

Рис. 3. Оснащение современными приборами маркшейдерской службы: а – наземный лазерный сканер RIEGL VZ-2000i; б – беспилотный летательный аппарат (БПЛА); в – работа со сканером; г – передвижной репер; д – работа с тахеометром TC-407; е – работа с GNSS / **Fig. 3.** Equipment with modern instruments of the surveying service: а – RIEGL VZ-2000i terrestrial laser scanner; б – unmanned aerial vehicle (UAV); в – terrestrial laser scanning; г – portable benchmark; д – surveying with Leica TC-407 total station; е – GNSS surveying

потерь полезного ископаемого и уменьшению разубоживания руды.

Одним из наиболее ответственных направлений деятельности маркшейдерской службы является мониторинг устойчивости бортов карьера. Непрерывный контроль деформационных процессов позволяет своевременно выявлять начальные стадии смещений массива горных пород, прогнозировать развитие опасных геомеханических процессов и принимать инженерные решения, направленные на обеспечение промышленной безопасности горных работ [13–15].

Комплексное использование спутниковых технологий, электронных тахеометров, лазерного сканирования и цифрового моделирования обеспечивает получение высокоточной пространственной информации, необходимой для эффективного управления геомеханическим состоянием карьера.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что переход к цифровым технологиям маркшейдерского обеспечения значительно повышает эффективность производственных процессов, сокращает сроки выполнения измерительных работ, увеличивает точность пространственных данных и способствует дальнейшему развитию интеллектуальных технологий управления открытыми горными работами.

Выводы

1. Анализ организации маркшейдерского обеспечения АО «Altyntau Kokshetau» показал, что современное развитие открытых горных работ невозможно без комплексного при-

менения высокоточных геодезических технологий и цифровых систем обработки пространственной информации.

2. Использование GNSS-технологий, электронных тахеометров, беспилотных летательных аппаратов, лазерного сканирования и специализированных программных комплексов обеспечивает высокую точность создания цифровых моделей месторождения, оперативное выполнение маркшейдерских работ и повышение качества управления горным производством.

3. Внедрение автоматизированной системы диспетчеризации Wenco с использованием GNSS-позиционирования технологического оборудования позволяет автоматизировать процессы геодезического сопровождения буровзрывных работ, сократить объем полевых измерений и повысить точность реализации проектных решений.

4. Комплексный мониторинг устойчивости бортов карьера на основе современных геодезических методов способствует своевременному выявлению опасных деформационных процессов, снижению геотехнических рисков и обеспечению промышленной безопасности при ведении открытых горных работ.

5. Дальнейшее совершенствование маркшейдерского обеспечения должно быть направлено на интеграцию средств измерений, цифровых моделей месторождения, автоматизированных систем управления горным производством и технологий цифрового двойника карьера, что позволит повысить эффективность эксплуатации месторождения и уровень промышленной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Жаутиков Т.М., Фомичев В.И. Особенности формирования Васильковского золото-мегапородового гиганта Северного Казахстана с позиции новой генетической концепции. *Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология: тезисы докладов научно-технической конференции*. Улан-Удэ, 2004: 150.
Zhautikov T.M., Fomichev V.I. Features of the Formation of the Vasilkovskoye Gold Mega-Stockwork Giant in Northern Kazakhstan from the Perspective of a New Genetic Concept. *Gold of Siberia and the Far East: Geology, Geochemistry, Technology, Economics, Ecology: Proceedings of the Scientific and Technical Conference*. Ulan-Ude, 2004: 150. (In Russ.).
2. Любецкий В.Н., Беспаяв Х.А., Любецкая Л.Д. Глубинные модели месторождений золота Бакырчик и Васильковское. *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан*. 2008; 1: 25-36.
Lyubetsky V.N., Bespaev Kh.A., Lyubetskaya L.D. Deep Models of the Bakyrchik and Vasilkovskoye Gold Deposits. *Proceedings of National Akademiiyrambeku of Sciences of the Republic Kazakhstan*. 2008; 1: 25-36. (In Russ.).
3. Рафаилович М.С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. Алматы: 2009: 304.
Rafailovich M.S. *Gold of Kazakhstan's Subsoil: Geology, Metallogeny, and Predictive Exploration Models*. Almaty, 2009: 304. (In Russ.).
4. Рафаилович М.С. Васильковское штоткерное месторождение золота: геологическая позиция, минералого-геохимическая зональность, прогнозно-поисковая модель. *Геология и охрана недр*. 2006; 4: 34-41.
Rafailovich M.S. Vasilkovskoye stockwork gold deposit: geological position, mineralogical and geochemical zoning, forecast and exploration model. *Geology and Subsoil Conservation*. 2006; 4: 34-41.
5. Хоменко М.О., Гибшер Н.А., Томиленко А.А. и др. Физико-химические параметры и возраст формирования Васильковского золоторудного месторождения (Северный Казахстан). *Геология и геофизика*. 2016; 57 (12): 2192-2217. <https://doi.org/10.15372/GiG20161206>.
Khomenko M.O., Gibsher N.A., Tomilenko A.A., et al. Physicochemical Parameters and Age of Formation of the Vasilkovskoye Gold Deposit (Northern Kazakhstan). *Russian Geology and Geophysics*. 2016; 57 (12): 2192-2217. <https://doi.org/10.15372/GiG20161206>. (In Russ.).
6. Кокшетауская возвышенность. Формирование и геология. URL: <https://kokshetau.online/kokshetauskaya-vozvyshehnost-formirovanie-geologiya-podborka>.
Kokshetau Upland: Formation and Geology. URL: <https://kokshetau.online/kokshetauskaya-vozvyshehnost-formirovanie-geologiya-podborka>. (In Russ.).
7. АО «ALTYNTAU KOKSHETAU», годовой отчет за 2026 г. URL: https://kase.kz/files/emitters/ATKT/atkt_2017_rus.pdf.
ALTYNTAU KOKSHETAU JSC. Annual Report for 2026. URL: https://kase.kz/files/emitters/ATKT/atkt_2017_rus.pdf April 25, 2026). (In Russ.).
8. Хайков В.Т. Маркшейдерские работы на карьере АО «Altyntau Kokshetau». *Горный журнал Казахстана*. 2011; 11: 14-16.
9. Низаметдинова Ф.К. Управление устойчивостью техногенных горных сооружений. Караганда. 2014: 657.
Nizametdinova F.K. Stability Management of Technogenic Mining Structures. Karaganda. 2014: 657. (In Russ.).
10. Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» от 27.12.2017 г. № 125-VI ЗПК (с изм. и доп.). Астана, 2017.
Code of the Republic of Kazakhstan "On Subsoil and Subsoil Use" No. 125-VI LRK, dated December 27, 2017 (as amended and supplemented). Astana, 2017. (In Russ.).

11. Арно В.В., Колесниченко Е.П., Гарифуллина И.Ю. и др. Оценка устойчивости откосов уступов карьера «Нежданинское». *Маркшейдерия и недропользование*. 2024; 4: 24-29. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_24_29.
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifullina I.Yu., et al. Assessment of slope stability of benches of the Nezhdaninskoye quarry. *Mine surveying and subsurface use*. 2024; 4: 24-29. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_24_29. (In Russ.).
12. Nurpeisova M., Meirambek G., Ormambekov Ye., et al. Methodology for creating maps of the stability of quarry slopes. Author's certificate of the Republic of Kazakhstan. 2025. № 53350. January 10.
13. Teng L., He Y., Wang Y., Sun C., Yan J. Numerical stability assessment of a mining slope using the synthetic rock mass modeling approach and strength reduction technique. *Front. Earth Sci.* 2024; 12: 1438277. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1438277>.
14. Nurpeisova M.B., Rysbekov K.B., Kasymkhanova Kh.M., et al. Comprehensive monitoring of geodynamic polygon of deposits in central Kazakhstan. *Collection of works the 18th International Congress for Mine Surveying in Xuzhou*. China, 2023: 11-19.
15. Nurpeisova M.B., Salkynov A.T., Soltabayeva S.T., et al. Patterns research of geomechanical development processes in combined development method. *Eurasian Mining*. 2024; 1: 7-11. <https://doi.org/10.17580/em.2024.01.02>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Виктор Трофимович Хайков –

главный маркшейдер, начальник производственно-технического отдела АО «Altyntau-Kokshetau», г. Кокишетау, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0000-7815-4200>;
e-mail: Viktor.Khaikov@altyntau.com

Азамат Дулатович Исенов –

старший маркшейдер АО «Altyntau-Kokshetau», г. Кокишетау, Республика Казахстан,
<https://orcid.org/0009-0003-8599-3688>

Ержан Жумагалиевич Ормамбеков –

PhD докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0009-0001-2248-7214>

Роман Владимирович Шульц –

доктор технических наук, профессор, научный сотрудник Университет нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM), г. Дахран, Саудовская Аравия;
<https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.07.2026
Поступила после рецензирования: 29.07.2026
Принята к публикации: 10.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Viktor T. Khaikov –

Chief Mine Surveyor, Head of the Production and Technical Department, Altyntau-Kokshetau JSC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0000-7815-4200>;
e-mail: Viktor.Khaikov@altyntau.com

Azamat D. Isenov –

Senior Mine Surveyor, Altyntau-Kokshetau JSC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0003-8599-3688>

Erzhan Zh. Ormambekov –

PhD Doctoral Student, K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0001-2248-7214>

Roman V. Shults –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Research Scientist, King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM), Dhahran, Saudi Arabia; <https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 15.07.2026
Revised: 29.07.2026
Accepted: 10.08.2026

Geodynamic test site of the Zhilandy ore field: practice and prospects

G. Meirambek, K. B. Rysbekov, M. B. Nurpeisova[✉],
S. T. Soltabayeva, Sh. K. Aitkazinova

Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Abstract. Information is presented on the copper deposits of Kazakhstan that are being developed in the central region and their role in the development of the mining industry. To ensure reliable prediction and prevention of hazardous geodynamic phenomena in the area where a group of deposits is being mined, it is proposed to establish a geodynamic monitoring system. This group includes long-term operating copper ore deposits. The establishment of a geodynamic test site and the implementation of integrated monitoring observations will ensure the stability of mining operations, as well as the industrial and environmental safety of the region as a whole.

Keywords: copper ore deposits, geology, stress-strain state, rock mass, monitoring, geodynamic test site, monitoring, management

Financing: Study was carried out with the financial support of the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP AP23489269).

For citation: Meirambek G., Rysbekov K.B., Nurpeisova M.B., Soltabayeva S.T., Aitkazinova Sh.K. Geodynamic test site of the Zhilandy ore field: practice and prospects. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 24-30. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-24-30>.

Геодинамический полигон Жиландинского рудного поля: практика и перспективы

Г. Мейрамбек, К. Б. Рысбеков, М. Б. Нурпеисова[✉], С. Т. Солтабаева, Ш. К. Айтказинова
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева
(Satbayev University),

г. Алматы, Республика Казахстан

✉ marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Резюме. Представлена информация о меднорудных месторождениях Казахстана, разрабатываемых в Центральном Казахстане, и их роли в развитии горнодобывающей промышленности страны. Для обеспечения надежного прогнозирования и предупреждения опасных геодинамических явлений в районе разработки группы месторождений предложено создание системы геодинамического мониторинга. В рассматриваемую группу входят длительно эксплуатируемые меднорудные месторождения. Создание геодинамического полигона и проведение комплексных мониторинговых наблюдений обеспечат устойчивость ведения горных работ, а также промышленную и экологическую безопасность региона в целом.

Ключевые слова: меднорудные месторождения, геология, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород, мониторинг, геодинамический полигон, управление

Финансирование: Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № АП АР23489269).

Для цитирования: Мейрамбек Г., Рысбеков К.Б., Нурпеисова М.Б., Солтабаева С.Т., Айтказинова Ш.К. Геодинамический полигон Жиландинского рудного поля: практика и перспективы. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 24-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-24-30>.

Introduction

Large-scale mining of solid mineral deposits significantly alters the natural stress–strain state of the upper Earth's crust, often triggering hazardous geodynamic phenomena, including rockbursts, mining-induced seismicity, and ground deformation. Reliable prediction and prevention of these processes remain a major scientific and engineering challenge due to the complexity of geological conditions, heterogeneity of rock masses, and the continuous changes in their physical and mechanical properties during mining operations [1–3].

Long-term studies of the Zhezkazgan natural-technical system, comprising underground mines, concentrators with tailings storage facilities, and copper smelters in Karaganda, Balkhash, Zhezkazgan, and Satpayev, have confirmed that intensive mining activities substantially affect the regional geodynamic regime and the environment [4, 5]. At the same time, the depletion of reserves at the Zhezkazgan deposit necessitates the development of new copper ore deposits within the Zhilandinskaya group to expand the mineral resource base of Central Kazakhstan.

Currently, conditions are being established to expand the mineral resource base of Central Kazakhstan through the development of the Zhilandinskaya group of copper deposits, including East Saryoba, West Saryoba, Kipshakpai, Karashoshak, and Itauyz (Fig. 1).

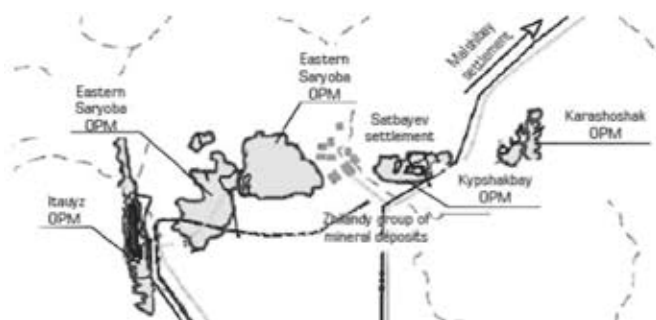


Fig. 1. Zhilandy group of deposits

The aim of this study is to develop an integrated geodynamic monitoring approach for assessing the state of the rock mass by considering both natural and mining-induced factors and applying advanced monitoring methods to improve geomechanical control and ensure safe mining operations.

Methods

The study employed an integrated approach that included engineering-geological investigation of the structural and tectonic setting of the rock mass, instrumental mine surveying observations using modern surveying equipment and monitoring tools developed by the authors, as well as geomechanical process management.

Results and discussion

Geology and structure

The engineering-geological and mining-technical conditions of a giant copper deposit located in Central Kazakhstan were investigated. Within the ore field, proven and approved reserves of categories B + C1 + C2 are sufficient to classify the deposit as a major industrial mining project. A total of 11 ore deposits comprising 109 ore bodies have been identified and explored within the ore field [6, 7]. The largest ore deposits are confined to the Taskuduk Horizon. They exhibit a northeast strike, extend for up to 3,200 m, have thicknesses ranging from 0.5 to 17 m, and reach a down-dip extent of up to 1,400 m (Fig. 2).

In the studied area, the southwestern part of the orefield is complicated by high-order folds and faults, the largest of which is the Saryoba transpressional fault of submeridional strike. Its length is more than 10 km with a width of 250–400 m, the main plane dips to the west at an angle of 25–30°. The Saryoba transpressional fault divides the one field into two almost equal parts. The West Saryoba deposit is located in the western half, and East Saryoba is located in the eastern half. Rock mass is complicated by tectonic disturbances, rock contacts, and contains mine workings of various shapes and sizes, which greatly complicates their development.

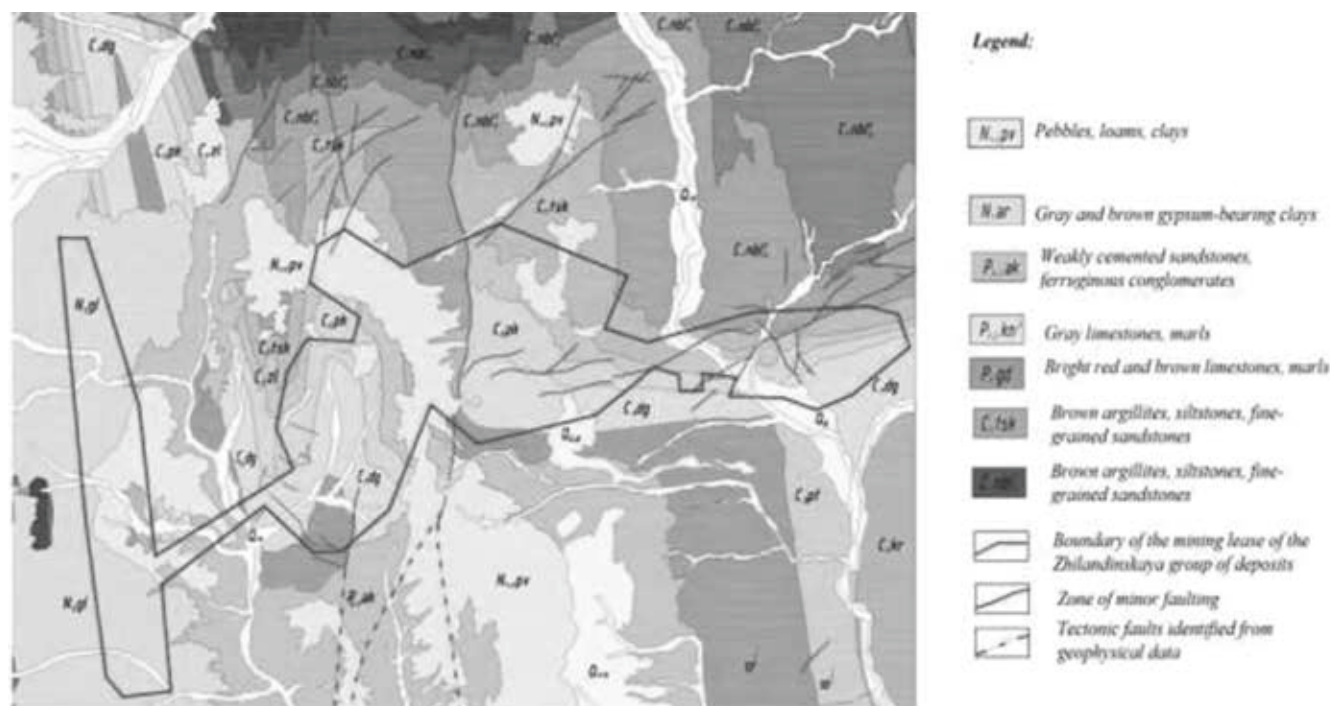


Fig. 2. Geological and structural map of the Zhilandinskaya group of deposits (M 1:50 000)

Physical and mechanical properties of rocks

The rock mass is complicated by tectonic faults, lithological contacts, and mining excavations of various shapes and sizes, which significantly complicate mining operations.

The structural features of the rock mass were investigated through field observations of rock outcrops, and its physical and mechanical properties (PMP) were determined.

Tests of the physical and mechanical properties of the rocks were conducted at the Geomechanics Laboratory of Satbayev University. The obtained results made it possible to establish graph-analytical relationships between the strength properties of the rock mass and the depth of occurrence, thereby enabling prompt refinement of bench-by-bench stability calculations for mining excavations (Fig. 3).

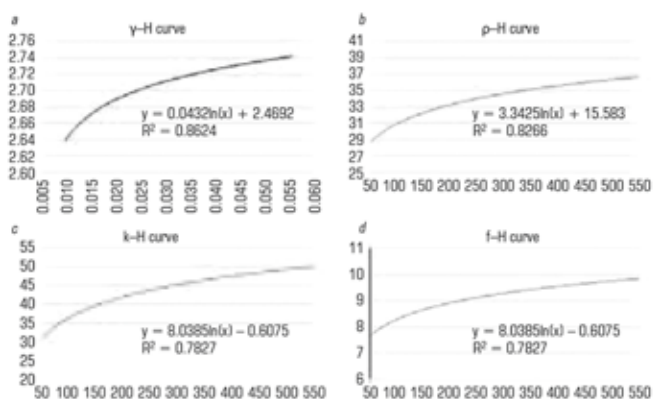


Fig. 3. Strength properties versus occurrence depth occurrences H

for massive limestone:

(a) density γ ; (b) internal friction angle ρ ; (c) cohesion k ; (d) rock hardness f

Curves of changes in rocks properties were drawn according to averaged indicators over depth after 50 m. Assessment and reliability of determining dependencies were made according to formulas of mathematical statistics. Deviation of calculated curves from empirical ones varies within 5-8%, and for the most part curves coincide with each other. Data analysis also shows that strength properties of rocks change markedly with depth of their occurrence [8].

The same dependencies were also obtained for a number of fields in Kazakhstan, namely for the Akzhal field; Akbakai, Sayak et al. To find general patterns of variability of strength and structural properties of rocks, data of a number of deposits are also generalized and graphic-analytical relationships between average density, cohesion, strength of rocks and their depth are established. Curves of changes in rock properties were drawn according to averaged group indicators at depth intervals of 50 m. To compare results obtained on the object under study with data from other mines, combined graph of relationship of rock properties was compiled (Fig. 4).

Based on studies carried out, quantitative and qualitative characteristics of rock properties of several deposits, including Saryoba deposit, were obtained. These characteristics will be used in solving several technical problems in open pits and underground mines: in assessment stability of ledges and sides of open pits: calculated pillars and marginal ceilings, to generalize results of instrumental observations and understand physical side of displacement process [20].

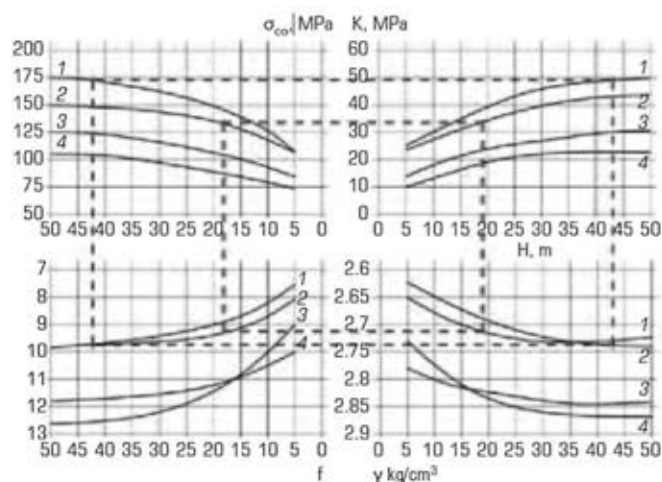


Fig. 4. Relationships between rock properties and their depth:

1 - Saryoba deposit; 2 - Akzhal deposit, 3 - Sayak deposit, 4 - Akbakai deposit

Stress-strain state of massif

The most important geomechanical characteristic of rock mass is its stress-strain state (SSS). To date, various methods and techniques have been developed to control SSS of rock mass. Among the main ones are: method of SSS unloading VNIMI, core disk, etc. To study stress state of rock masses in the Central Kazakhstan field, authors developed "Seismoacoustic method for predicting SSS of rock mass" [9]. Seismoacoustic method for predicting SSS of rock mass includes installing sensor of seismoacoustic signals emitted by natural sources in rock mass, after which parameters of these signals are determined.

In the proposed Seismoacoustic method for predicting SSS of rock mass, including installation of sensor for seismoacoustic signals emitted by natural sources in rock mass, determining parameters of these signals. Registration of seismoacoustic signals is carried out by sensor in wells drilled in mine workings at various horizons. Method is characterized by simplicity and speed of measurement with high reliability of results.

Scheme for implementing method is shown in Fig. 5 - scheme for measuring stresses using core unloading method at the end of well 4. To do this, end of the well is ground with special disk mounted on the rod and strain gauge 1 is pressed tightly onto the end. Cable from strain gauge is passed into a hollow drill rod and an annular gap 2 with help of a crown. As a result, the elastic expansion of the core 3 occurs, which is fixed by a measuring tensometer in three directions, the results of which are shown in Table 1.

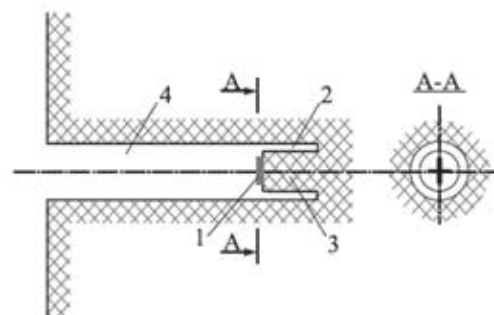


Fig. 5. Scheme for measuring stresses

After measuring deformations core is broken off and sent to laboratory in special package to determine elastic rocks characteristics.

Table 1

Results of measuring natural stresses in the Saryoba deposit

Depth from the daylight surface, H, m	Average stress values, MPa			Sum of horizontal stresses, $(\sigma_x + \sigma_y)$, MPa
	σ_x	σ_y	$\sigma_z = \gamma H$	
60	5,2	3,3	2,2	8,5
60	5,0	3,2	2,0	8,2
120	7,8	4,4	3,3	12,2
120	6,3	5,7	3,5	12,0
180	9,1	6,6	5,4	15,7
180	10,5	5,1	5,2	15,6
240	12,1	7,1	6,7	19,2
240	14,0	5,1	7,2	19,1
240	13,7	5,3	6,8	19,0
300	12,2	10,4	8,6	22,6
300	14,0	9,0	8,2	23,0
300	13,8	8,8	8,5	22,6
260	8,6	6,3	4,1	14,9
280	9,0	6,5	4,2	15,6
300	10,2	7,3	5,0	17,5
460	14,8	10,4	4,3	25,2
460	17,1	8,6	5,8	25,7
460	18,5	7,3	6,0	25,8
500	20,1	10,1	6,7	30,2
500	20,5	10,6	7,2	31,1
500	20,7	10,7	6,8	31,4

Note: σ_z is the average value of the voltage acting in the vertical direction; σ_x is the average value of the normal stress acting in the meridional direction; σ_y the average value of the normal voltage acting in the latitudinal direction.

Analyzing Table 1 and results of determining natural stresses obtained for other mines, one cannot but notice following features of distribution of horizontal stresses in rock mass. Firstly, horizontal stresses exceed vertical ones in their values, secondly, at equal depths from day surface in hard rocks, horizontal stresses have higher values than relatively weak ones, thirdly, vertical stresses are on average close to the value of γH regardless on the strength of the rock.

Thus, all types of stresses change with depth, especially the sum of the horizontal stresses ($\sigma_x + \sigma_y$) changes according to a certain pattern [10].

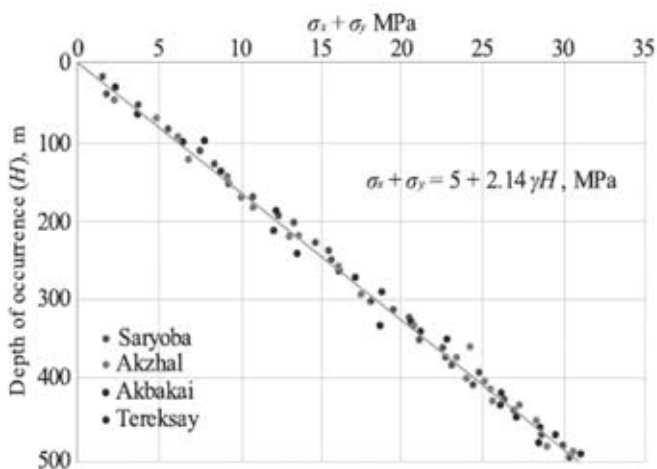


Fig. 6. Change in sum of horizontal stresses ($\sigma_x + \sigma_y$) with depth

Naturally, there was a desire to compare the stress results obtained by us with the results of similar studies by other

researchers. The analysis of the collected data on stress in rock masses in different regions was linked to their type of tectonic structure. For comparison, Figure 6 shows data for the Akbakai, Akzhal (Kazakhstan), Tereksey mines of the Kyrgyz Republic and East Saryoba.

According to figure 6, the relationship between stress and depth is considered to be rectilinear, then the correlation relationship is determined by the following formula

$$Y = a + \epsilon \cdot X, \quad (1)$$

where Y – sum of principal horizontal stresses, $(\sigma_x + \sigma_y)$;
 X – mining depth, H ; a and ϵ – equation parameters.

$$\text{or } \sigma_x + \sigma_y = 5 + 0,06 \cdot H, \text{ MPa.} \quad (2)$$

If we pay attention to formula (1), then normal stresses are also related to volumetric weight of rocks. Then formula (2) will have the following form:

$$\sigma_x + \sigma_y = 5 + 2,14\gamma H, \text{ MPa,} \quad (3)$$

where γ – volumetric weight of rock $2,8 \cdot 10^{-2}$ MPa;
 H – depth from the surface, m;
 relationship correlation coefficient is $r = 0,92$.

Graphical-analytical dependences obtained as a result of performed research make it possible to give qualitative and quantitative assessment of changes in the properties of rocks. There is a stable correlation between indicators. With some known indicators, it seems possible to determine others using graphs, thereby opening possibility of predicting the properties of rocks within the deposits. Initial data for this are rocks names, their depth of occurrence, and individual characteristics, such as specific density of rocks and others, determination of which does not require labor-intensive laboratory studies.

Instrumental observations of the state of the array

According to the 3-block of recommended methodology, to conduct observations of rock mass state, especially when prospecting a giant copper field, occupying a large area and consisting of several deposits, occurring in various deep horizons, it is necessary to create a high-precision geodetic substantiation. To provide a huge area, classic option of creating geodetic networks in the fields is rather labor-intensive. It requires large financial costs for the organization and production of observations. In this regard, it is proposed to replace extended leveling lines with local geodetic constructions in the form of profile lines and check “clusters” of geodetic and leveling stations. Complex application of ground and space geodetic methods allows monitoring observations to cover entire territory of field, as well as to increase efficiency of observations and reduce capital costs for their implementation [11].

Traditional geodetic networking over a vast area of a mine field takes much labor and money. Authors propose to replace long leveling lines with local geodetic imaging in the form of geodynamic profiles, profile lines and control clusters of geodetic and leveling points. Integrated application of ground and space geodetic methods will make it possible to cover the entire mine field area with monitoring observations, as well as to increase efficiency of observations and to reduce a large area and designed for deep seams, authors suggest covering a mine field with chief branches of base (reference), support (initial)

and check points of ground control and leveling [22]. All key points are located in accordance with the layout of ore veins (see Fig. 2) and are tied to the points of the State Geodetic Network (Fig. 7).

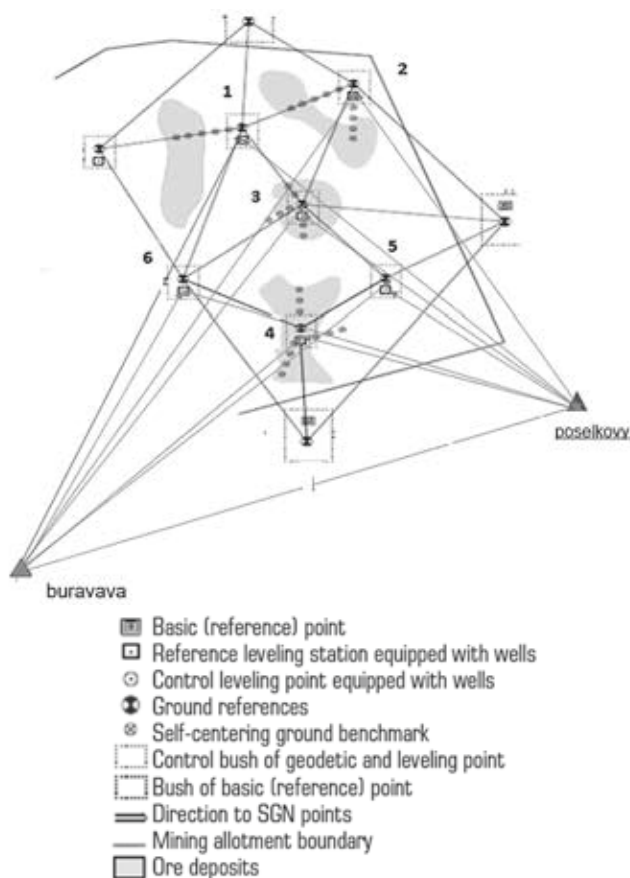


Fig. 7. Scheme of observation network location dynamic polygon and triangulation points

Instrumental observations showed complexity of field work, especially transfer of equipment (tool, tripod, rails, etc.) from one point to another. In this regard, to speed up installation and measurement operations, permanent forced centering points (FCP) have been developed to be set at the reference point during geomechanical monitoring. FCP belongs to geodetic centers for new instruments and signals [12, 13].

Purpose of this invention is to improve accuracy of centering and to enhance efficiency of measurement at observation points unequipped with tripods. The new device allows fast and accurate centering, and also eliminates using tripods. Plane coordinates and the preliminary heights of these points were determined by the satellite method using Leica GS16 3.75G geodetic satellite receiver. The final heights of the points were determined by class II geometric leveling method using Trimble Dini03 digital level and barcode rails (Fig. 8).

To determine spatial data of control points laid on the site of geodynamic polygon, method of network positioning in the static observation mode was used. All static measurements were made along the baseline at this point. Duration of observation is 80 minutes. Reference bases are installed at the triangulation point Poselkovy and Burovaya (Fig. 7). As initial data, adjusted coordinates of points are taken, according to certain parameters of the transition from WGS-84 to the local coordinate system and heights.



Fig. 8. Monitoring by GPS receivers and electronic tacheometers Basic (reference) point installed at permanent forced centering points

Geomechanical processes control

Strength and stability of inter-chamber support pillars, as well as stability of adjacent rock mass are determined by degree of their fracturing. Strengthening technology of fractured massif should ensure complete filling of cracks in massif with various compositions and reliably fasten individual structural blocks into a single whole. Tailings of processing plant of the Saryoba mine were studied as a filler for hardening mixtures for fractured rock masses in a quarry, as well as disturbed inter-chamber pillars and ceilings in underground workings.

On the basis of the conducted research, we have proposed a solution for strengthening fractured rocks containing filler, cement and process water. To reduce the cost of the solution, tailings from concentrating plants were used as a filler. Dry superplasticizer Neolit 400 is well compatible with Portland cements, cement - up to 37%, tailings of processing plants - up to 52%, and the rest is water.

The technical novelty of the created solution was confirmed by the patents of the Republic of Kazakhstan for the invention [14, 15].

Conclusions

1. A geospatial database for the ore deposits of Central Kazakhstan was established, integrating geological, geomechanical, and geodetic information. Three-dimensional geological and geomechanical models were developed to characterize the stress-strain state and spatial evolution of the rock mass during mining. The obtained regression relationships ($R = 0.92$) confirmed the reliability of predicting changes in rock strength properties.

2. An improved methodology for integrated geodetic monitoring of geodynamic test sites was developed, including the design of monitoring networks and the installation of high-precision instruments on permanent forced-centering stations. The proposed approach increases measurement accuracy and repeatability, expands monitoring coverage, and reduces labor intensity and operational costs.

3. A resource-efficient strengthening grout based on mineral processing tailings was developed to reinforce quarry slopes, waste dumps, and underground pillars. The technology improves rock mass stability, reduces deformation hazards, and promotes the environmentally sustainable utilization of mining waste.

4. The proposed integrated methodology for geomechanical monitoring and rock mass stability management provides a scientific basis for improving geotechnical monitoring systems and can be applied to ore deposits of Central Kazakhstan and other deposits of the Zhilandsinskaya Group to enhance the long-term safety and efficiency of mining operations.

REFERENCES

1. Adushkin V.V., Turuntaev S.B. Anthropogenic Seismicity: Induced and Trigger. Moscow, 2015: 364.
2. Melnikov N.N. Environmental Problems in the XXI Century and the Development of Subsoil. *Development of the Subsoil and Environmental Problems of the XXI Century: collection of scientific papers*. 2010; (1): 26-45.
3. Yang Z., Gao Q., Li M.-h., Zhang G. Stability Analysis and Design of Open-Pit Mine Slope in China: A review. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2014; (19): 10247-10266.
4. Mikhailova N.N., Uzbekov A.N. Tectonic and man-made earthquakes in Central Kazakhstan. *News of NAS RK. Series of geology and technical sciences*. 2018; 3 (429): 327-337.
5. Rylnikova M.V., Yun A. B., Terentyeva I. V. Replenishment of retired capacities of mines at the stage of finalizing balance reserves of the deposit - condition for environmentally balanced development of the Zhezkazgan region. *Mine Surveying*. 2016; 5: 6–10.
6. Begalinov A., Khomiakov V., Serdaliyev Y., et al. Formulation of Methods Reducing Landslide Phenomena and the Collapse of Career Slopes during Open-Pit Mining. *E3s Web Conf*. 2020; 168: 00006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016800006>.
7. Bondarenko V., Symanovych G., Koval O. The Mechanism of Over-coal Thin-Layered Massif Deformation of Weak Rocks in a Longwall. *Geo-mechanical Process. During Underground Mining*. 2012: 41–44. <https://doi.org/10.1201/b13157-8>.
8. Method for Predicting FMS and SSS of an Array: Certificate of Entry into the State Register of Rights to Objects Protected by Copyright, No. 19300. G. M. Kyrgyzbayeva, M. B. Nurpeisova. July 12, 2021.
9. Patent RK No. 35898. Seismoacoustic Method for Predicting the SSS of an Array. M. B. Nurpeisova, M. Zh. Bitimbaev, K. B. Rysbekov, G. M. Kyrgyzbayeva; successor in title. UNIV KAZANAT RES TECH. Publication date: 14.10.2022. Derwent Primary Accession Number: 2024-B08861.
10. Makarov A.B. Practical Geomechanics: A Manual for Mining Engineers. Moscow, 2006: 391.
11. Abdiev A., Mambetova R., Abdiev A., Abdiev S. Development of Methods for Assessing the Mine Workings Stability. *E3s Web Conf*. 2020; 201: 01040. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101040>.
12. Patent of the Republic of Kazakhstan No. 35798. Ground-Based Permanent Geodetic Point for Forced Centering of Instruments. M. Nurpeisova, K. Rysbekov, Sh. Aitkazinova [et al.] ; successor in title. UNIV KAZA NAT RES TECH. March 11, 2021. Derwent Primary Accession Number: 2022-C4343S.
13. Bazaluk O., Petlovanyi M., Zubko S., et al. Instability Assessment of Hanging Wall Rocks during Underground Mining of Iron Ores. *Minerals*. 2021; 11 (8): 858. <https://doi.org/10.3390/min11080858>.
14. Patent K36246-B. Method of Consolidating the Slope of a Quarry / A. A. Bek, N. S. Donenbayeva, M. B. Nurpeisova et al.; UNIV KAZA NAT RES TECH. Derwent Primary Accession Number: 2024-C48648.
15. Meirambek G., Rysbekov K.B., Babets D.V., et al. Sarybayev N. Integrated geomechanical modeling of the rock mass based on radar observations for identifying the displacement zone. *Engineered Science*. 2026; 41: 2227. <https://doi.org/10.30919/es2227>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гульдана Мейрамбек –

канд. техн. наук, профессор, зав. кафедры
маркшейдерского дела и геодезии, Казахский национальный
исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика
Казахстан; <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Канай Бахытович Рысбеков –

канд. техн. наук, профессор кафедры маркшейдерского дела
и геодезии, Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev
University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Маржан Байсановна Нурпеисова –

д-р техн. наук, профессор кафедры маркшейдерского дела
и геодезии, Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev
University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>;
e-mail: marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Сауле Темирбулаовна Солтабаева –

канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры
маркшейдерского дела и геодезии, Казахский национальный
исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика
Казахстан; <https://orcid.org/0000-0003-1330-2174>

ABOUT THE AUTHORS

Goldana Meyrambek –

Cand. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Mine
Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical
University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty,
Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Kanai B. Rysbekov –

Cand. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mine Surveying
and Geodesy, Kazakh National Research Technical University
K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of
Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0003-3959-550X>

Marzhan B. Nurpeisova –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mine Surveying and
Geodesy, Kazakh National Research Technical University
K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of
Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>;
e-mail: marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Saule T. Soltabayeva –

Cand. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mine Surveying
and Geodesy, Kazakh National Research Technical University
K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of
Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-1330-2174>

Шынар Касымкановна Айтказинова –

*PhD, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии,
Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University),
г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-0964-3008>*

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.07.2026

Поступила после рецензирования: 31.07.2026

Принята к публикации: 07.08.2026

Shynar K. Aitkazinova –

*PhD, Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy,
Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-0964-3008>*

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 15.07.2026

Revised: 31.07.2026

Accepted: 07.08.2026

Современные методы геотехники – эффективный способ обеспечения промышленной безопасности объектов недропользования

М. Б. Нурпеисова^{1✉}, С. Р. Гречухин², Р. В. Шульц³,
Е. Ж. Ормамбеков¹, А. А. Бек¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан

²АО «Алтынтау Кокшетау» (Altyntau Kokshetau), г. Кокшетау, Республика Казахстан

³Университет нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM), г. Дахран,
Королевство Саудовская Аравия

✉ marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Резюме. Рассмотрены особенности проявления геомеханических процессов и пути их решения на карьере АО «Алтынтау Кокшетау» (Altyntau Kokshetau). Для надежного прогнозирования и предотвращения опасных геомеханических процессов при отработке Васильковского месторождения создана геотехническая служба, в состав которой входят современные измерительные комплексы. В условиях проявления сложных геомеханических условий при углублении карьера и перехода к подземной отработке месторождения требуется дальнейшее развитие методов и средств геотехники на карьере «Алтынтау Кокшетау», установка дополнительных элементов геомеханического мониторинга на участках, где прогнозируются опасные геодинамические проявления, и обоснование их надежных предвестников.

Ключевые слова: карьер, геомеханические процессы, геотехнические измерения, высокоточное позиционирование, спутниковые системы навигации, базовая станция дифференциальной коррекции

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта № AP26100471.

Для цитирования: Нурпеисова М.Б., Гречухин С.Р., Шульц Р.В., Ормамбеков Е. Ж., Бек А.А. Современные методы геотехники – эффективный способ обеспечения промышленной безопасности объектов недропользования. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 31-37. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-31-37>.

Modern geotechnical methods – effective approach to ensuring industrial safety in mining

M. B. Nurpeisova¹, S. R. Grechukhin², R. V. Shults³, Ye. Zh. Ormanbekov¹, A. A. Bek¹

¹Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University),
Almaty, Republic of Kazakhstan

²AO “Altyntau Kokshetau”, Kokshetau, Republic of Kazakhstan

³King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM),
Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia

✉ marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Abstract. This paper examines the characteristics of geomechanical processes occurring at the Altyntau Kokshetau open-pit mine and discusses approaches to their effective management. To ensure reliable prediction and prevention of hazardous geomechanical phenomena during the mining of the Vasilkovskoye gold deposit, a dedicated geotechnical service has been established, equipped with advanced monitoring and measurement systems. As the pit deepens and mining operations transition to underground extraction under increasingly complex geomechanical conditions, further development of geotechnical monitoring methods and instrumentation at the Altyntau Kokshetau mine is required. This includes the installation of additional geomechanical monitoring

systems in areas where hazardous geodynamic events are predicted, as well as the identification and validation of reliable precursors of such events.

Keywords: open-pit mine, geomechanical processes, geotechnical monitoring, high-precision positioning, Global Navigation Satellite Systems (GNSS), differential correction base station

Acknowledgments: The study was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan under grant No. AP26100471.

For citation: Nurpeisova M.B., Grechukhin S.R., Shults R.V., Ormanbekov Ye.Zh., Bek A.A. Modern geotechnical methods – effective approach to ensuring industrial safety in mining. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 31-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-31-37>.

Введение

Золото является одним из приоритетных видов полезных ископаемых. Велико значение золота как валютного резерва государства, необходимого для стабильного развития экономики, экономической безопасности в условиях кризиса и спада производства. Территория Казахстана богата минеральными ресурсами, одним из приоритетных направлений является укрепление минерально-сырьевой базы государства. Перед РК стоит важная задача увеличить золотодобычу до обозначенного президентом страны уровня – 70 т в год. Задача может быть решена за счет вовлечения в эксплуатацию наиболее перспективных типов золоторудных месторождений, к которым относятся и золото-сульфидно-кварцевые штокверковые месторождения.

Одним из крупнейших объектов золотодобывающей отрасли Казахстана является Васильковское золоторудное месторождение, в настоящее время разрабатываемое АО «Алтынтау Кокшетау» (АТК). В процессе развития открытого способа добычи полезного ископаемого наблюдается увеличение глубины, объемов и производственных мощностей карьеров. Обязательным условием для безопасного ведения горных работ на карьерах является обеспечение устойчивости бортов карьеров.

Современный этап развития горнодобывающей отрасли характеризуется значительными геомеханическими процессами, связанными с изменением напряженного состояния и деформацией бортов карьеров. Эти процессы создают условия неопределенности при разработке месторождений и могут вызывать серьезные негативные технологические, экологические и экономические последствия, иногда приводя к катастрофическим технико-экономическим последствиям и даже человеческим жертвам [1–3]. В этой связи приоритетными направлениями исследований в области промышленной безопасности остаются: разработка методологии изучения и прогнозирования геомеханических процессов; внедрение инновационных методов геомониторинга; создание научных основ и практических подходов к управлению геомеханическими процессами при освоении недр. Значительный вклад в развитие методологии полевых геомеханических исследований внесли ученые из московской, ленинградской и казахстанской школ геомехаников [4–7].

Тем не менее, несмотря на достигнутые успехи, проблема изучения геомеханических процессов и обеспечения промышленной безопасности остается нерешенной. Современные исследования геомеханических процессов получили новый стимул благодаря широкому распространению концепции иерархического строения трещинно-блочной структуры горных пород на различных масштабных уровнях [8–

10], что связано с изменчивостью параметров тектонических нарушений по мере углубления горных работ.

На кафедре маркшейдерского дела и геодезии Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева уделяется повышенное внимание промышленной безопасности на горнодобывающих предприятиях. Внедрению в практику современных технологий, средств контроля и мониторинга массива горных пород отводится основная роль. Свидетельством этому являются проводимые нами исследования по проектам «Разработка инновационных методов прогнозирования и оценки состояния массива горных пород для предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера» и «Разработка комплексных методов мониторинга и управления устойчивостью карьерных откосов в сложных горно-геологических условиях с целью повышения безопасности и эффективности недропользования», выполняемые при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК.

Цель работы – повышение промышленной и экологической безопасности разработки Васильковского месторождения на основе совершенствования методики ведения мониторинга и прогнозирования опасных геомеханических процессов.

Методы исследования

В работе использован комплексный метод, включающий инженерно-геологическое изучение структурно-тектонического строения массива горных пород с картированием нарушенных участков, инструментальные маркшейдерские наблюдения с использованием современных приборов и средств геотехники.

Результаты и обсуждение

Изучение горно-геологических и горнотехнических условий Васильковского месторождения [11]

Васильковское месторождение является одним из крупнейших в золотодобывающей отрасли Казахстана, а в мире входит в двадцатку крупнейших по всем параметрам. Месторождение расположено в Акмолинской области, Республика Казахстан, в 17 км к северу от г. Кокшетау.

Месторождение отрабатывается открытым способом, диаметр карьера по верхним горизонтам – 1000–1200 м, текущая глубина – 495 м, проектная – 540 м. На месторождении построена золотоизвлекательная фабрика в соответствии с лучшими мировыми стандартами, где проводится уникальная переработка сплава доре. Васильковское рудное поле локализовано в пределах Алтыбайской синклинальной структуры, является рудным штокверком, который представляет собой полузамкнутый толстостенный эллипс с безрудным ядром (рис. 1).

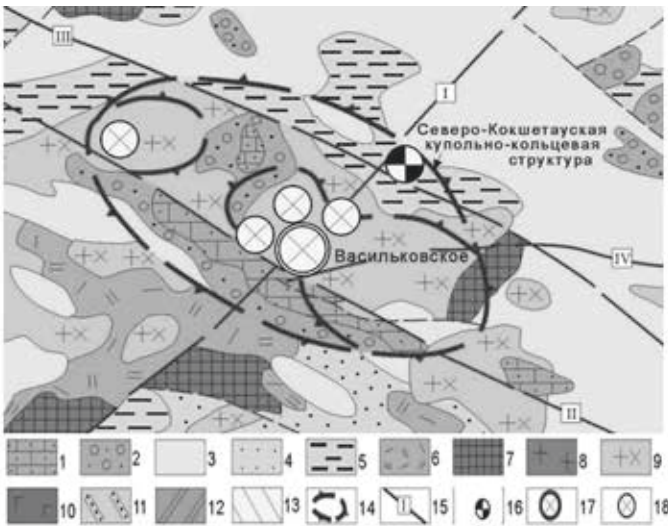


Рис. 1. Региональная геолого-структурная позиция Васильковского золоторудного месторождения по М. С. Рафаиловичу: 1 – терригенно-карбонатная, 2 – конгломерат-песчаниковая, 3 – вулканогенно-терригенная, 4 – кварцитопесчаники кокшетауской свиты, 5 – углеродистые карбонаты, 6 – порфириды, 7 – амфиболит зерендинской свиты, 8 – лейкограниты, 9 – батолиты пестрого состава, 10 – габбро-диориты, 11 – калишпатиты, 12 – березиты, 13 – пропилитизированные породы, 14 – контур прожилковой золотой минерализации, 15 – региональные разломы, 16 – золото-колчеданно-барит-полиметаллическое месторождение, 17 – очень крупное Васильковское месторождение, 18 – мелкие месторождения и рудопроявления [11] /

Fig. 1. Regional geological-structural position of the Vasilkovsky gold ore deposit according to M. S. Rafailovich: 1 – terrigenous-carbonate, 2 – conglomerate-sandstone, 3 – volcanogenic-terrigenous, 4 – quartzite sandstones of the Kokshetau suite, 5 – carbonaceous carbonates, 6 – porphyrites, 7 – amphibolite of the Zerendin suite, 8 – leucogranites, 9 – batholiths of variegated composition, 10 – gabbro-diorites, 11 – potassium feldspathites, 12 – beresites, 13 – propylitized rocks, 14 – contour of veinlet gold mineralization, 15 – regional faults, 16 – gold-pyrite-barite-polymetallic deposit, 17 – very large Vasilkovskoye deposit, 18 – small deposits and ore occurrences [11]

Форма рудного штокерка и глубина залегания руд предопределили разработку месторождения открытым способом до глубины 585 м. В процессе развития открытого способа добычи полезного ископаемого наблюдается увеличение глубины, объемов и производственных мощностей карьеров. Обязательным условием для безопасного ведения горных работ на карьерах является обеспечение устойчивости бортов карьеров. Исходя из задач и функций управления устойчивостью породных массивов, особенно карьерных откосов при разработке месторождений полезных ископаемых, характеризующихся разнообразием и изменчивостью геологического строения, необходимо постоянно проводить исследования, направленные на получение достоверной информации о структурных особенностях прибортового массива, его прочностных свойствах, гидрогеологических условиях и т. д. Такие исследования должны проводиться на всех этапах формирования карьерных откосов (строительство карьера, освоение проектной мощности, начало оформления постоянных бортов карьера на предельном контуре, доработка карьера) в рамках единой системы.

В настоящее время разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом характеризуется внедрением в производство новых технологических средств добычи полезных ископаемых, что приводит к интенсификации

горных работ. В этой связи особую роль играет надежное обеспечение геомеханического мониторинга с помощью современного высокоточного геодезического оборудования и программных комплексов [12]. Служба укомплектована и использует современные маркшейдерские приборы, в основном швейцарского производства, фирмы Leica: три тахеометра TC-407, два ровера GPS-1200 и ровер GPS-900; стационарную базовую станцию с 30-километровым радиусом покрытия AX 1202, передвижную станцию с 5-километровым радиусом покрытия ATX 900 и сканер 4400 HDS.

Ведение автоматического мониторинга состояния массива горных пород

Мониторинг смещений бортов карьеров в классическом варианте является довольно сложным и ресурсоемким процессом, требующим участия группы высококвалифицированных специалистов. Для обеспечения мониторинга бортов карьера на «Алтынтау Кокшетау» создана геотехническая служба, которая в настоящее время состоит из 10 специалистов, как-то: главный геотехник, главный специалист по мониторингу, ведущий инженер-геотехник по мониторингу (4 ед.), ведущий инженер геотехник, инженер-геотехник и ведущий инженер-гидрогеолог (2 ед.).

Основными функциями службы являются:

- осуществление комплексного геотехнического мониторинга состояния откосов уступов и бортов карьера;
- ежедневный геотехнический визуальный осмотр рабочих мест и опасных участков в карьере, на отвалах и складах;
- изучение деформаций уступов и бортов карьера и отвалов и выявление причин их возникновения;
- прогнозирование опасных зон;
- определение оптимальных параметров откосов, уступов и берм;
- разработка и применение мер, исключающих проявление деформаций, опасных для жизни людей.

Георадарный мониторинг

На карьере установлены три георадара. Данная система в круглосуточном режиме с периодичностью в две минуты сканирует весь периметр карьера для определения зон деформаций с использованием программного обеспечения Guardian FPM-360 (FPM – от английского «Full Pit Monitoring», что переводится как «мониторинг всего карьера») и в режиме реального времени передает данные на монитор, установленный у диспетчера рудника, для заблаговременного предупреждения о возможном обрушении, где в случае превышения уровня допустимых деформаций срабатывает тревога.

Общая схема размещения систем геотехнической службы приведена на рисунке 2.

На рисунке 3а приведены данные радарного мониторинга по зоне № 9 карьера за июнь 2025 года, а на рисунке 3б – результаты смещения данной зоны за четыре месяца 2025 года.

GeoMos monitoring

На промышленной площадке рудника «Алтынтау Кокшетау» установлены три автоматические системы GeoMos monitoring. Данная система включает в себя роботизированный тахеометр TCA 1201+, который ведет круглосуточное наблюдение за деформацией бортов карьера, и программное обеспечение, позволяющее анализировать полученные данные с прибора (рис. 4). Количество мониторинговых точек на бортах карьера по состоянию на 30 октября 2025 года состав-

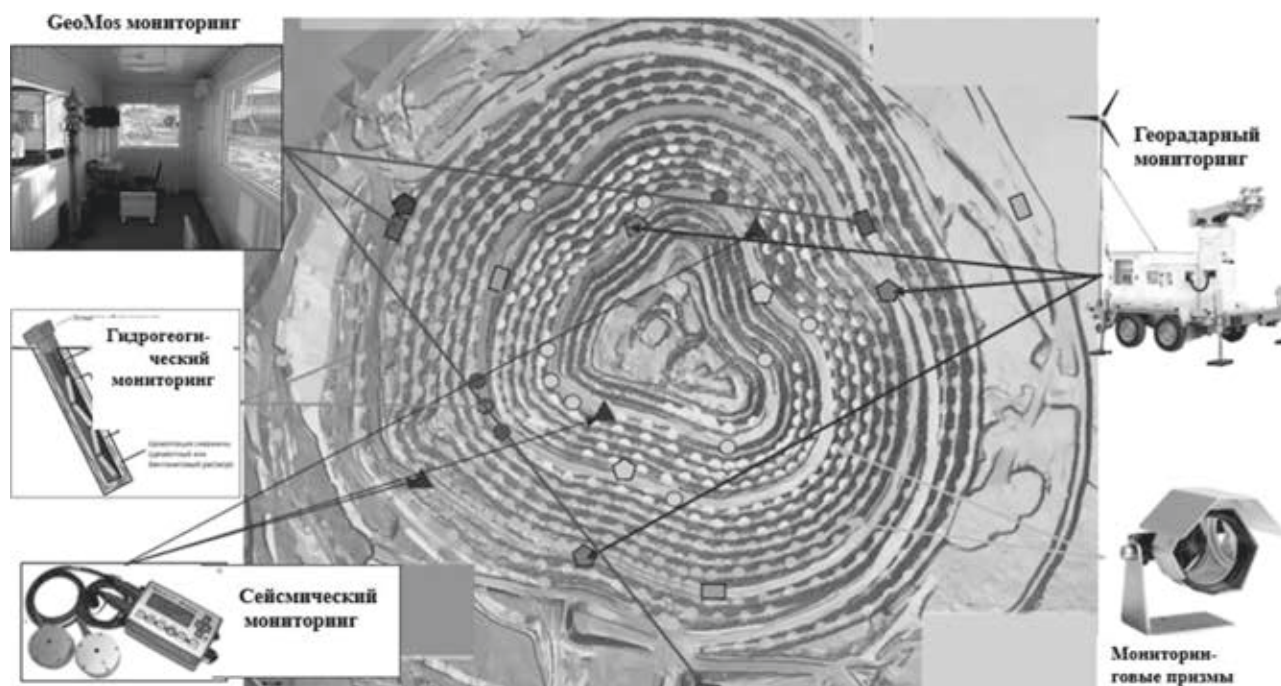
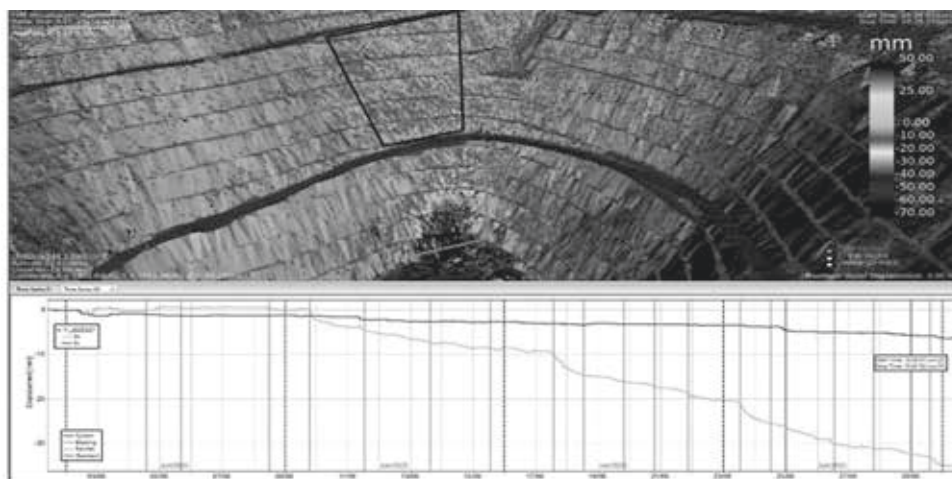


Рис. 2. Схема расположения средств геотехнической службы на карьере «Алтынтау Кокшетау» /
Fig. 2. Layout of geotechnical service facilities at the Altıntay Kokshetau quarry

а (a)



б (b)

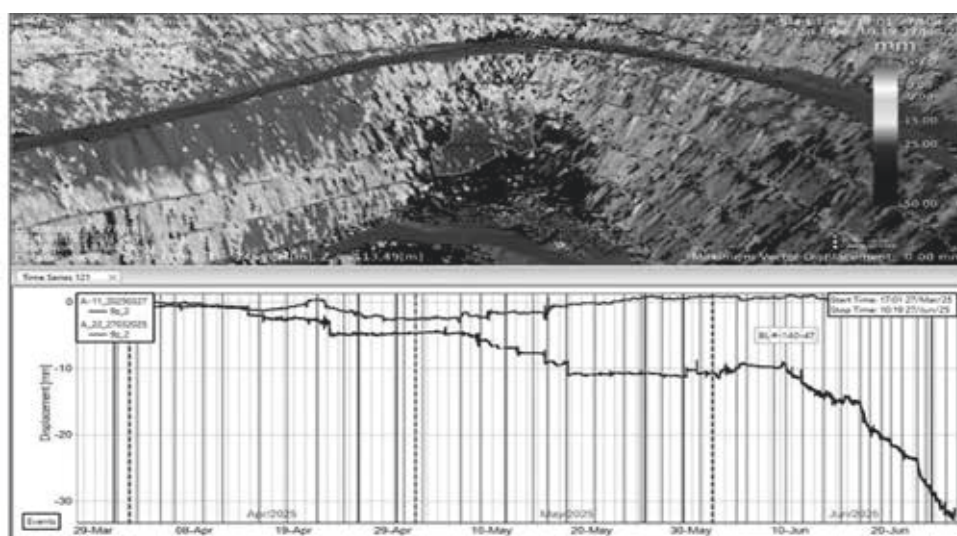


Рис. 3. Результаты георадарного мониторинга деформаций борта карьера в зоне № 9:

а - данные радарного мониторинга зоны № 9 (смещение) с 01.06-30.06.2025 г.; б - смещение зоны №9 по данным радарного мониторинга с 01.03-30.06.2025 г.
Fig. 3. Results of ground-based radar monitoring of pit slope deformation in Zone No. 9:
а - radar monitoring data of zone No. 9 (shift) from 01.06-30.06.2025; б - shift of zone No. 9 according to radar monitoring data from 01.03-30.06.2025.

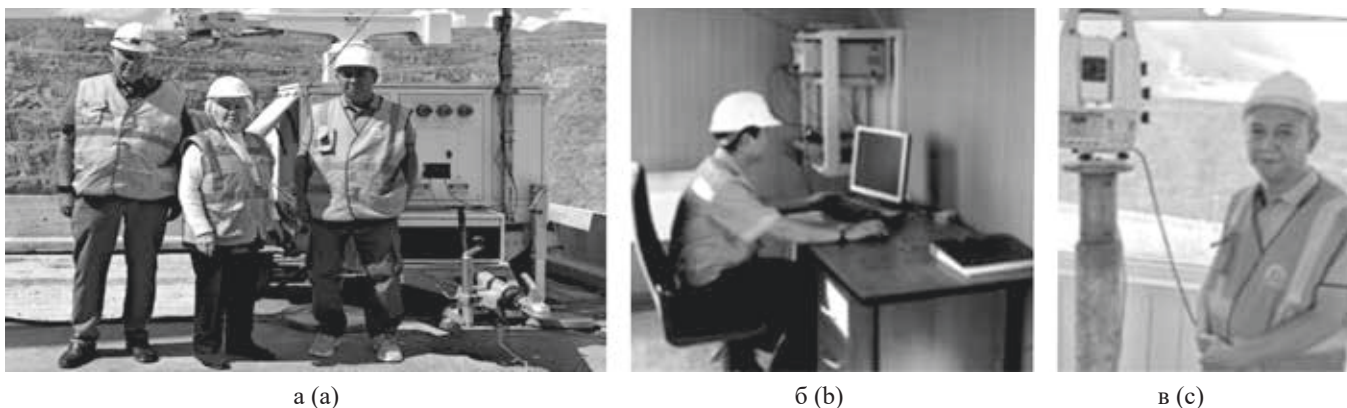


Рис. 4. Современные средства геотехнического мониторинга, используемые на карьере АО «Алтынтау Кокшетау»:

а - сотрудники Satbayev University у станции георадарного мониторинга; **б** - внутри базовой станции GeoMos; **в** - роботизированный тахеометр, используемый для автоматического приземного мониторинга /

Fig. 4. Modern geotechnical monitoring systems used at the AO "Altyntau Kokshetau" open pit mine:

a - Satbayev University researchers near the ground-based radar monitoring station; **b** - inside the GeoMos base station operation of the GeoMoS automated monitoring system; **c** - robotic total station used for automated prism monitoring

ляет 637 штук. Установка новых приземных отражателей продолжается при понижении горных работ, и на 2026 год запланирована установка еще ста отражателей и трех станций приземного мониторинга.

С 2019 года используется специальное программное обеспечение Sirovision Datamine для 3D-картирования трещиноватости бортов карьера по фотографиям без непосредственного подхода к бортам карьера. В 2025 году с учетом результатов картирования и данных геотехнического бурения актуализирована литолого-структурная модель месторождения силами компании Test (ЮАР). Работы в данном направлении проводятся на регулярной основе. По результатам оценки состояния прибортовых массивов разрабатываются соответствующие меры. Поскольку конечной целью для всех геомеханических исследований является обеспечение промышленной безопасности, то для предотвращения дальнейшего оползня (смещения) борта месторождения нами был разработан способ укрепления карьерных откосов из отходов ГМК [13].

Гидрогеологический мониторинг

В целях обеспечения устойчивости бортов карьера и управления геотехническими рисками на месторождении реализуется комплексная программа гидрогеологического мониторинга и водопонижения. Для мониторинга порового давления в прибортовых участках карьера в 2019–2023 годах установлены струнные пьезометры в шести гидрогеологических скважинах (SRK-1, 2, 3 и KGG-1, 2, 3). С привлечением компании SRK Consulting (г. Москва) была разработана цифровая геофильтрационная гидрогеологическая 3D-модель в программе Visual MODFLOW Flex.

Также в 2023–2024 году были пробурены шесть наклонных скважин (в опасных геотехнических зонах 9, 10), оснащенных многоуровневыми пьезометрами для мониторинга порового давления в корях выветривания, а также инклинометрами и рефлектометрами для контроля смещений горного массива. Для непосредственного снижения порового давления выполняется бурение субгоризонтальных дренажных скважин. В 2020–2023 годах силами ATK с использованием станка Smart ROC D65 пробурены 73 горизонтальные дренажные скважины глубиной 45 метров. В период с 2024 по 2025 год (по состоянию на 30.10.2025) выполнено бурение

78 субгоризонтальных дренажных скважин длиной 100 м, что позволило существенно осушить прибортовой массив и повысить устойчивость откосов бортов. До 2026 года запланировано бурение порядка 70 дополнительных дренажных скважин длиной 100 м.

Сейсмический мониторинг

С марта 2020 года на руднике введен сейсмический мониторинг карьерных взрывов с использованием мобильной сейсмостанции Minimate Pro 6 компании Instantel (Канада), по результатам которого достигается значительное снижение сейсмического воздействия на прибортовой массив от контурных взрывов. Важнейшей геомеханической характеристикой массива горных пород является его напряженно-деформационное состояние (НДС). Для изучения напряженного состояния массивов пород на руднике Акбакай авторами разработан сейсмоакустический метод прогнозирования НДС массива горных пород [14].

Введен в эксплуатацию спутниковый мониторинг участков карьера, рудных складов и породных отвалов. Каждые 11 дней, после пролета спутников над территорией АТК, обновляются данные сканирования, позволяющие определить смещения массива горных пород.

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 [15].

Анализ методов геотехнического мониторинга состояния карьерных откосов, проявления сложных геомеханических условий при углублении карьера и перехода к подземной отработке месторождения требует дальнейшего развития методов и средств геотехники на карьере «Алтынтау Кокшетау», установки дополнительных элементов геомеханического мониторинга на участках, где прогнозируются опасные геодинамические проявления, и обоснования их надежных предвестников.

Выводы

1. Выполнен анализ горно-геологических и горнотехнических условий разработки Васильковского золоторудного месторождения, который показал, что увеличение глубины открытых горных работ сопровождается усложнением гео-

механической обстановки и повышением требований к обеспечению устойчивости карьерных откосов.

2. Установлено, что обеспечение промышленной безопасности на глубоких карьерах возможно только на основе комплексного геотехнического мониторинга, объединяющего автоматический призмный мониторинг, георадарные наблюдения, трехмерное картирование трещиноватости, гидрогеологический, сейсмический и спутниковый мониторинг в единую систему контроля состояния прибортового массива.

3. Показано, что внедрение современных автоматизированных систем мониторинга обеспечивает непрерывное получение информации о развитии деформационных процессов, своевременное выявление потенциально опасных зон и повышение оперативности принятия инженерных решений по предупреждению аварийных ситуаций.

4. По результатам комплексной оценки состояния прибортового массива реализован комплекс инженерно-технических мероприятий, включающий трехмерное структурное моделирование массива, гидрогеологическое сопровождение, дренажные мероприятия и разработку способа укрепления карьерных откосов, что способствует повышению устойчивости бортов карьера и снижению геотехнических рисков.

5. Установлено, что по мере углубления карьера и подготовки к последующей подземной разработки месторождения возникает необходимость дальнейшего совершенствования методов геотехнического мониторинга, расширения сети автоматизированных наблюдений и разработки надежных критериев раннего прогнозирования опасных геодинамических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. John V. Simmons. Geotechnical risk management in open pit coal mines. *Australian Center Geomechanics Newsletter*. 2012; 22: 1-4.
2. Мельников Н.Н. Экологические проблемы XXI века и освоение недр. *Освоение недр и экологические проблемы – взгляд в XXI век: сборник трудов Межд. конференции*. Москва, 2001: 26-45.
Melnikov N.N. Environmental problems in the 21st century and the development of mineral resources. *Development of mineral resources and environmental problems of the XXI century: Proceedings of the International Conference*. Moscow, 2001: 26-45. (In Russ.).
3. Трубецкой К.Н. Состояние и основные направления комплексного освоения и сохранения ресурсов земных недр. *Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: мат-лы IV конференции Межд. науч. школы акад. РАН К.Н. Трубецкого*. Москва, 2020: 5-11.
Trubetskoy K.N. The state and main directions in the development of earth's interior resources. *Problems and prospects of integrated development and conservation of the earth's interior*. Moscow, 2020: 5-12. (In Russ.).
4. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Юн А.Б. и др. Становление нового технологического уклада комплексного освоения недр при истощении балансовых запасов месторождений. *Горный журнал*. 2019; 4: 11-15. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.04.02>.
Kaplanov D.R., Rylnikova M.V., Yun A.B., et al. A new technological policy for integrated subsoil development in the conditions of depleting mineral reserves and resources. *Mining Journal*. 2019; 4: 11-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.04.02>.
5. Нурпеисова М.Б., Рысбеков К.Б., Кыргызбаева Г.М. Инновационные методы проведения комплексного мониторинга на геодинамических полигонах: монография. Алматы, 2015: 266.
Nurpeisova M.B., Rysbekov K.B., Kyrgyzbaeva G.M. Innovative methods for conducting integrated monitoring at geodynamic test sites (monograph). Almaty, 2015: 266. (In Russ.).
6. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Москва, 1975: 378.
Fisenko G.L. Stability of Open Pit Slopes and Waste Dumps. Moscow, 1975: 378. (In Russ.).
7. Певзнер М.Е., Иофис М.А., Попов В.Н. Геомеханика. Москва, 2005: 347.
Pevzner M.E., Iofis M.A., Popov V.N. Geomechanics. Moscow, 2005: 347. (In Russ.).
8. Машанов А.Ж., Певзнер М.Е., Бекбасаров Ш.С. Устойчивость уступов и бортов карьеров бассейна Каратау. Алма-Ата, 1981: 120.
Mashanov A.Zh., Pevzner M.E., Bekbasarov Sh.S. Stability of Benches and Pit Slopes in the Karatau Basin. Alma-Ata, 1981: 120. (In Russ.).
9. Низаметдинова Ф.К. Управление устойчивостью техногенных горных сооружений: монография. Караганда, 2014: 657.
Nizametdinova F.K. Management of the Stability of Technogenic Mining Structures: Monograph. Karaganda, 2014: 657. (In Russ.).
10. Nurpeisova M. B., Rysbekov K.B., Kasymkhanova Kh.M., et al. Comprehensive monitoring of geodynamic polygon of deposits in central Kazakhstan. *Collection of works the 18th International Congress for Mine Surveying in Xuzhou* (China from October 24th till October 29th 2023). 2023: 11-19.
11. Рафаилович М.С. Васильковское штоковерковое месторождение золота: геологическая позиция, минералого-геохимическая зональность, прогнозно-поисковая модель. *Геология и охрана недр*. 2006; 4: 34-41.
Rafailovich M.S. The Vasilkovskoye Stockwork Gold Deposit: Geological Setting, Mineralogical and Geochemical Zonation, and Predictive Exploration Model. *Geology and Subsurface Protection*. 2006; 4: 34-41. (In Russ.).
12. Хайков В.Т. Маркшейдерские работы на карьере АО «Алтынтау Кокшетау». *Горный журнал Казахстана*. 2011; 11: 14-16.
Khaikov V.T. Mine Surveying Operations at the Altyntau Kokshetau Open Pit Mine. *Mining Journal of Kazakhstan*. 2011; 11: 14-16. (In Russ.).
13. Патент K36246-Б. Method of consolidating the slope of a quarry (authors: Bek A.A. Donenbayeva N.S., Nurpeisova M.B., Aitkazinova Sh.K., Nukarbekova Zh.M., Derbisov K.N) UNIV KAZA NAT RES TECH. № patent Derwent 2024-C48648.
Патент K36246-Б. Способ укрепления откосов карьера (изобретатели: Бек А.А. Доненбаева Н.С., Нурпеисова М.Б., Айтказинова Ш.К., Нукарбекова Ж.М. Дербисов К.Н. Патенообладатель: КазННТУ имени К. И. Сатпаева. Регистрационный номер Derwent 2024-C48648. (In Russ.).
14. Патент RK No. 35898. Seismoacoustic method for predicting the SSS of an array" Inventors: Nurpeisova M.B., Bitimbaev M.Zh., Rysbekov K.B., Kyrgyzbaeva G.M. Successor in title UNIV KAZANAT RES TECH. Publ.14.10.2022. Derwent Primary Accession Number2024-B08861.
Патент РК № 35898. «Сейсмоакустический способ прогнозирования напряженно-деформированного состояния массива». (Изобретатели: Нурпеисова М.Б., Битимбаев М.Ж., Рысбеков К.Б., Кыргызбаева Г.М. Патентообладатель: КазННТУ имени К. И. Сатпаева (Satbayev University). Оpubл. 14.10.2022. Регистрационный номер Derwent: 2024-B08861. (In Russ.).
15. Nurpeisova M.B., Menayakov K.T., Ormambekov Ye., et al. Integrated monitoring and modeling of slope stability in structurally complex rock mass. *Eurasian mining*. 2025; 1: 46-50. <https://doi.org/10.17580/em.2025.01.08>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Маржан Байсановна Нурпеисова –

д-р техн. наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>;
 e-mail: marzhan-nurpeissova@rambler.ru

Marzhan B. Nurpeisova –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>;
 e-mail: marzhan-nurpeissova@rambler.ru

Сергей Ришатович Гречухин –

главный геотехник АО «Алтынтау Кокшетау»,
 г. Кокшетау, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0007-3240-0702>

Sergey R. Grechukhin – Chief Geotechnical Engineer, AO “Altyntau Kokshetau”, Kokshetau, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0007-3240-0702>

Роман Владимирович Шульц –

д-р техн. наук, профессор, научный сотрудник Университета нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM), г. Дахран, Королевство Саудовская Аравия;
<https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>

Roman V. Shults -

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Research Scientist, King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM), Dhahran, Saudi Arabia; <https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>

Ержан Жумагалиевич Ормамбеков –

докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0001-2248-7214>

Erzhan Zh. Ormambekov -

PhD Doctoral Student, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0001-2248-7214>

Айман Аскаркызы Бек –

старший преподаватель, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0003-1671-297X>

Aiman A. Bek –

PhD, Senior lecturer, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-1671-297X>

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.07.2026
 Поступила после рецензирования: 03.08.2026
 Принята к публикации: 07.08.2026

Article info

Received: 15.07.2026
 Revised: 03.08.2026
 Accepted: 07.08.2026

Моделирование деформационных процессов земной поверхности на нефтегазовом месторождении

А. К. Кенесбаева^{1✉}, О. С. Курманбаев², Р. С. Курманбаев²,
Л. Л. Жалилов¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
г. Алматы, Республика Казахстан

✉ a.kenesbayeva@satbayev.university

Резюме. Рассмотрен вопрос моделирования деформационных процессов земной поверхности на территории нефтегазового месторождения методом конечных элементов. В качестве примера выбрано месторождение углеводородов Северные Бузачи, расположенное в Мангистауской области. На основе данных геодинамических наблюдений, выполненных на месторождении, произведены расчеты компонентов относительных деформаций и построена пространственная модель деформационного поля методом конечных элементов. Полученная модель отражает геодинамическую ситуацию на всей территории рассматриваемого месторождения, позволяет выявить участки наиболее интенсивных смещений и определить особенности пространственного распределения деформационных процессов. Данный подход позволяет объективно оценить влияние разработки нефтегазового месторождения на напряженно-деформированное состояние геологической среды и способствует повышению безопасности эксплуатации месторождения.

Ключевые слова: деформации земной поверхности, нефтегазовые месторождения, метод конечных элементов, тензор деформации, геодинамический мониторинг, горизонтальные смещения

Для цитирования: Кенесбаева А.К., Курманбаев О.С., Курманбаев Р.С., Жалилов Л.Л. Моделирование деформационных процессов земной поверхности на нефтегазовом месторождении. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 38-43. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-38-43>.

Modeling of deformation processes of the earth's surface at an oil and gas field

A. K. Kenesbayeva^{1✉}, O. S. Kurmanbayev², R. S. Kurmanbayev², L. L. Zhalilov¹

¹Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ a.kenesbayeva@satbayev.university

Abstract. This article examines the modeling of earth's surface deformation processes within an oil and gas field using the finite element method. The Severnye Buzachi hydrocarbon field, located in the Mangystau region, is used as a case study. Based on geodynamic observations conducted at the field, relative deformation components are calculated and a spatial model of the deformation field is constructed using the finite element method. The resulting model reflects the geodynamic situation throughout the entire field, identifies areas of the most intense displacements, and determines the spatial distribution of deformation processes. This approach enables an objective assessment of the impact of oil and gas field development on the stress-strain state of the geological environment and contributes to improved field safety.

Keywords: earth surface deformations, oil and gas fields, finite element method, deformation tensor, geodynamic monitoring, horizontal displacement

For citation: Kenesbayeva A.K., Kurmanbayev O.S., Kurmanbayev R.S., Zhalilov L.L. Modeling of deformation processes of the earth's surface at an oil and gas field. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 38-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-38-43>.

Введение

Иntenсивная разработка нефтегазовых месторождений сопровождается изменением пластового давления, перераспределением масс и напряжений в недрах, что может приводить к деформациям земной поверхности. Своевременное выявление и прогнозирование таких процессов является важной задачей обеспечения промышленной и экологической безопасности. Для решения данной задачи необходим комплексный мониторинг, объединяющий геодезические и геофизические методы наблюдений, а также строгие математические методы анализа и интерпретации данных. Геодинамический мониторинг подразумевает: наличие сети геодезических пунктов, выполнение ГНСС наблюдений и геометрического нивелирования, а также гравиметрические измерения и сейсмический мониторинг [1, 2]. Интеграция результатов комплексных наблюдений с учетом геологических и эксплуатационных характеристик месторождения позволяет предупредить опасные геодинамические риски.

Геодезический мониторинг на нефтегазовых месторождениях позволяет определить величины горизонтальных и вертикальных смещений на ограниченном числе маркерных точек. Для выявления пространственного распределения деформационных процессов по всей исследуемой территории возникает необходимость применения методов математического моделирования [3–5]. Одним из наиболее эффективных и широко используемых методов моделирования является метод конечных элементов (МКЭ), с помощью которого выполняется интерполирование результатов геодезических наблюдений на всю область исследования [6]. В результате применения МКЭ определяются компоненты тензора деформации в любой точке расчетной области, выявляются зоны концентрации деформаций и характер их пространственного распределения, что показывает единую картину деформационного состояния исследуемой территории.

Материал и методы исследования

Месторождение Северные Бузачи находится в северо-западной части полуострова Бузачи, в непосредственной близости от разрабатываемых месторождений Каражанбас и Каламкас (рис. 1). В административном плане относится к территории Тюбкараганского района Мангистауской области [7, 8].

Месторождение было открыто в 1975 году, а промышленная разработка ведется с начала 1990-х годов. За более чем 30 лет эксплуатации здесь осуществляется интенсивная добыча нефти, сопровождающаяся изменением пластового давления и развитием геодинамических процессов.

Рельеф территории преимущественно равнинный с абсолютными отметками от -20 до +30 м, что благоприятствует проведению геодезического мониторинга. В геологическом отношении месторождение приурочено к Южно-Мангышлакскому нефтегазоносному бассейну и сложено мощной толщей мезозойских и кайнозойских осадочных пород. Основными продуктивными горизонтами являются юрские и нижнемеловые песчаники, перекрытые глинистыми водоупорными породами.

Подтверждением геодинамической активности региона являются сейсмические события. В 2010–2011 годах в районе города Актау было зарегистрировано более 40 удаленных землетрясений, а в феврале 2011 года на территории месторождения Тенгиз произошло землетрясение магнитудой 4,1

[9]. Кроме того, в апреле 2000 года в результате интенсивного проседания земной поверхности были затоплены значительные участки месторождений Каламкас и Каражанбас, расположенных в непосредственной близости от месторождения Северные Бузачи. Эти факты свидетельствуют о продолжающихся геодинамических процессах в западной части Казахстана и подчеркивают необходимость их комплексного геодезического мониторинга.

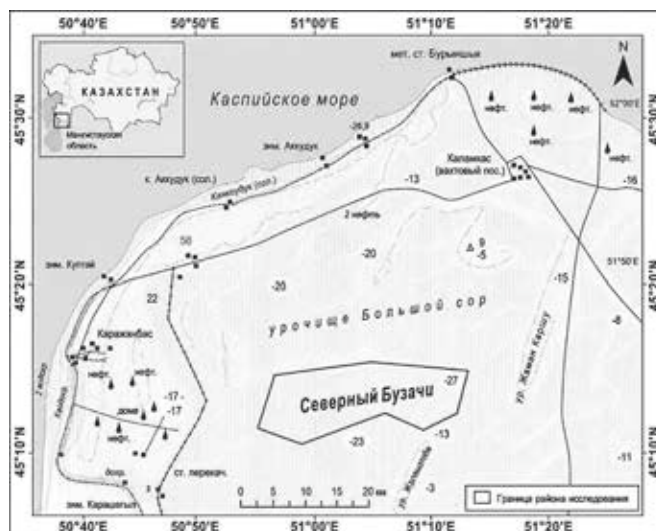


Рис. 1. Расположение месторождения Северные Бузачи /
Fig. 1. Location of the Northern Buzachi deposit

Комплексные наблюдения за сдвижением земной поверхности, выполнены НПЦ «ГЕОКЕН» в период с 2007 по 2010 год [10]. Анализ результатов мониторинга подтверждает наличие горизонтальных и вертикальных движений дневной поверхности на рассматриваемой территории и их изменения во времени. Исходные данные (табл.) для расчета относительных деформаций в горизонтальной плоскости были сформированы по данным ГНСС-наблюдений [11]. Координаты пунктов приведены в условной системе для первых 15 пунктов.

Таблица / Table

Координаты узловых точек и смещения по горизонтальным осям /
Coordinates of nodal points and displacements along horizontal axes

№	X, м	Y, м	U _x , мм	U _y , мм
1	544584,1	5001289,0	-0,9	18,5
2	546451,6	5001390,7	-1,1	17,0
3	547479,0	5001386,9	-1,0	14,2
4	548007,8	5001409,5	-1,1	13,7
5	548597,3	5001445,6	-1,3	14,7
6	549173,2	5001560,9	-1,5	14,3
7	549208,5	5000940,3	-0,5	12,9
8	550186,7	5000940,3	-0,4	10,5
9	550384,3	5001239,6	-0,9	11,2
10	551202,6	5000973,2	-0,6	11,4
11	551545,2	5001177,3	-0,6	11,1
12	552068,3	5001488,8	-1,3	8,7
13	553054,4	5001577,8	-1,4	7,6
14	553709,9	5001347,3	-1,3	8,1
15	554509,9	5001102,7	-1,1	7,9

Для количественной характеристики горизонтальных деформаций земной поверхности в основном используют компоненты относительных деформаций, включающие линейные деформации по координатным направлениям, а также деформацию сдвига. На основе полученных значений формируется тензор деформации, который служит для описания напряженно-деформированного состояния исследуемой области и позволяет оценивать величину и направление деформационных изменений [12, 13].

$$\begin{cases} \varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ \varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ \varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \\ T_\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} \end{pmatrix} \end{cases} \quad (1)$$

где, ε_{xx} – деформация в направлении оси X ;
 ε_{yy} – деформация в направлении оси Y ;
 ε_{xy} – деформация сдвига;
 T_ε – тензор деформации.

Согласно МНК, исследуемая область разбивается на систему треугольных конечных элементов, вершинами которых являются пункты геодезической сети с известными координатами и горизонтальными смещениями. В пределах каждого элемента предполагается линейное изменение компонент перемещений, что позволяет вычислить производные перемещений и определить компоненты тензора деформации.

Перемещения внутри конечного элемента аппроксимируются функциями формы:

$$U_x(x, y) = \sum_{i=1}^3 N_i U_{xi}, \quad U_y(x, y) = \sum_{i=1}^3 N_i U_{yi}, \quad (2)$$

где, N_i – функция формы треугольного конечного элемента;
 U_{xi} и U_{yi} – функция формы треугольного конечного элемента.

Компоненты тензора деформации определяются через производные функций перемещений:

$$\varepsilon = Bd, \quad (3)$$

где B – матрица производных функций формы, определяющая связь между перемещениями и деформациями;
 d – вектор узловых перемещений.

В результате расчета значения деформаций определяют для каждого конечного элемента, после чего формируется непрерывное поле деформаций, позволяющее анализировать пространственное распределение зон растяжения, сжатия и сдвиговых деформаций на исследуемой территории [14, 15].

Результаты и обсуждение

На первом этапе была сформирована расчетная геометрическая модель исследуемого участка. За основу приняты координаты контура территории нефтегазового месторождения Северные Бузачи, по которым построена граница расчетной области. В пределах данного контура была создана система расчетных узлов, равномерно распределенных по площади участка с учетом его геометрической формы. Координаты узлов были сформированы в программной среде MATLAB. Расположение узлов выбиралось таким образом, чтобы обеспечить равномерное покрытие исследуемой

территории и корректное построение триангуляционной сети Делоне. Использование триангуляции Делоне позволило сформировать устойчивую расчетную сетку без пересечения элементов, обеспечивающую корректную интерполяцию поля деформаций. Сформированная расчетная сеть узлов и построенная триангуляционная сеть представлены на рисунке 2.

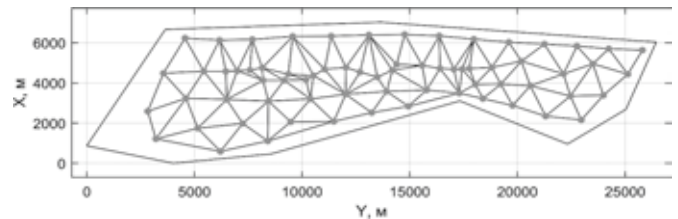


Рис. 2. Триангуляция по узловым точкам /
 Fig. 2. Triangulation by nodal points

Построенная триангуляционная сеть использовалась для интерполяции поля горизонтальных смещений и последующего вычисления компонент тензора деформации (рисунок 3). Интерполяция выполнялась в пределах построенной триангуляционной сети Делоне, что обеспечило непрерывное распределение компонентов горизонтальных смещений на всей площади исследуемого участка.

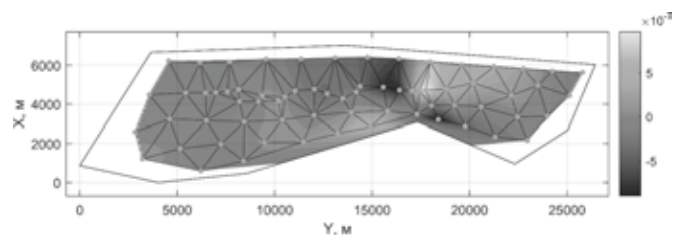


Рис. 3. Поле деформации ε_{xx} /
 Fig. 3. Deformation field ε_{xx}

На основе распределения компоненты горизонтальных смещений U_y была рассчитана компонента тензора деформации ε_{yy} , характеризующая относительные деформации вдоль оси Y . Результаты расчета пространственного распределения компоненты ε_{yy} представлены на рисунке 4. Положительные значения ε_{yy} соответствуют относительному растяжению вдоль оси Y , отрицательные – относительному сжатию.

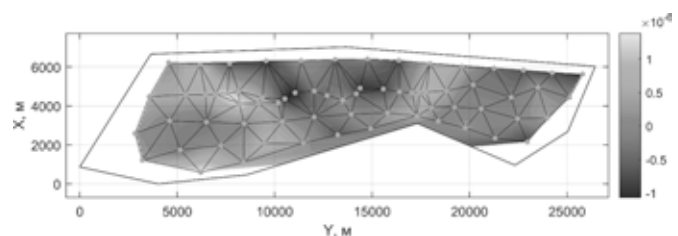


Рис. 4. Поле деформации ε_{yy} /
 Fig. 4. Deformation field ε_{yy}

Аналогичным образом по распределению компоненты U_x была рассчитана компонента тензора деформации ε_{xx} , характеризующая деформации вдоль оси X . Полученное распределение компоненты ε_{xx} приведено на рисунке 5. Аналогично компоненте ε_{yy} положительные значения ε_{xx} характеризуют растяжение вдоль оси X , а отрицательные – сжатие.

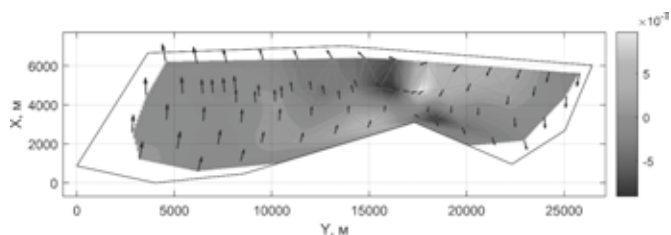


Рис. 5. Поле деформации ε_{xx} с векторной диаграммой /
Fig. 5. Deformation field ε_{xx} with vector diagram

Для анализа пространственной структуры деформационного поля поверх изолиний компоненты ε_{yy} (была построена векторная диаграмма. Направление стрелок соответствует направлению горизонтальных смещений, а их длина пропорциональна величине перемещения в соответствующей расчетной точке. Совместное отображение поля деформаций и векторов горизонтальных смещений приведено на рисунке 6.

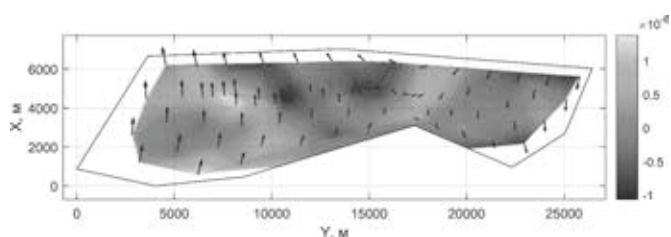


Рис. 6. Поле деформации ε_{yy} с векторной диаграммой /
Fig. 6. Deformation field ε_{yy} with vector diagram

Анализ пространственного распределения показывает, что на исследуемой территории наблюдаются участки как растяжения, так и сжатия. Направления векторов горизонтальных смещений согласуются с распределением компонент тензора деформации, что подтверждает корректность выполненного моделирования.

По результатам моделирования компонента ε_{xx} изменяется в диапазоне от $-9,09 \cdot 10^{-7}$ до $+1,06 \cdot 10^{-6}$, а компонента ε_{yy} – от $-1,07 \cdot 10^{-6}$ до $+1,51 \cdot 10^{-6}$. Следует отметить, что ком-

поненты ε_{xx} и ε_{yy} имеют различные диапазоны изменения и пространственное распределение, что свидетельствует о неоднородном характере деформационного поля исследуемого участка.

Коэффициент корреляции r между величинами ε_{xx} и ε_{yy} составил 0,311, что соответствует слабой положительной взаимосвязи. Это свидетельствует о том, что компоненты деформации не дублируют друг друга и характеризуют деформации земной поверхности в различных направлениях координатных осей.

Выводы

1. В результате выполненного исследования разработана модель пространственного распределения деформационных процессов земной поверхности на территории нефтегазового месторождения Северные Бузачи с применением метода конечных элементов. На основе данных геодинимических наблюдений выполнен расчет компонентов относительных деформаций, что позволило получить непрерывное поле деформаций на всей исследуемой территории. Анализ результатов моделирования показал наличие участков как растяжения, так и сжатия земной поверхности, что свидетельствует о неоднородном характере деформационного состояния исследуемого участка.

2. Полученный коэффициент корреляции между компонентами деформации характеризует слабую положительную взаимосвязь между ними. Это подтверждает, что данные компоненты описывают различные направления деформационного поля и не являются взаимозаменяемыми характеристиками. Сопоставление направления векторов горизонтальных смещений с распределением компонентов тензора деформации подтвердило корректность выполненного моделирования.

3. Рассмотренный подход позволяет выявлять зоны концентрации деформаций и оценивать особенности пространственного распределения деформационного поля, что имеет практическое значение для мониторинга геодинимического состояния нефтегазовых месторождений и повышения безопасности их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ашихмин С.Г. Особенности методик прогнозирования напряженно-деформированного состояния пород при разработке месторождений углеводородов. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. 2008; 2: 38-41.
Ashikhmin S.G. Features of methods for predicting the stress-strain state of rocks in the development of hydrocarbon deposits. *Mineral Survey and Subsoil Use*. 2008; 2: 38-41. (In Russ.).
2. Нурпеисова М.Б., Орынбасарова Э.О., Кыргызбаева Г.М. и др. Методы изучения геодинимических процессов: Учебник для вузов. Алматы: КазННТУ им. К.И. Сатпаева. 2022: 209.
Nurpeissova M.B., Orynbasarova E.O., Kyrgyzbayeva G.M., et al. Methods for studying geodynamic processes. *Textbook for universities*. Almaty: KazNITU named after K.I. Satpayev. 2022: 209. (In Russ.).
3. Волков О.В., Васильев Ю.В., Иноземцев Д.П. и др. Результаты мониторинга деформационных процессов методами высокоточной геодезии и радарной интерферометрии на геодинимическом полигоне Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024; 3: 97-103. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_3_97_103.
Volkov O.V., Vasiliev Yu.V., Inozemtsev D.P., et al. Results of monitoring deformation processes by high-precision geodesy and radar interferometry methods at the geodynamic test site of the Zapolyarnoye oil and gas condensate field. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024; 3: 97-103. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_3_97_103. (In Russ.).
4. Кенесбаева А., Турсбеков С.В., Кузнецова И.А. Мониторинг смещений земной поверхности при разработке месторождений углеводородов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2019; 2 (100): 42-44.
Kenesbaeva A., Tursbekov S.V., Kuznetsova I.A. Monitoring of earth's surface displacements during hydrocarbon deposit development. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2019; 2 (100): 42-44. (In Russ.).
5. Писарев В.С. Геотехнический мониторинг при эксплуатации нефтегазоносных месторождений. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024; 4 (132): 67-71. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_67_71.
Pisarev V.S. Geotechnical monitoring during exploitation of oil and gas fields. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024; 4 (132): 67-71. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_4_67_71.

6. Мазуров Б. Т., Дорогова И. Е. Геодинамика и геодезические методы ее изучения: учебное пособие. Новосибирск, 2014: 175.
Mazurov B.T., Dorogova I.E. Geodynamics and geodetic methods of its study: textbook. manual. Novosibirsk, 2014: 175. (In Russ.).
7. Жардаев М.К. Совершенствование методики проведения мониторинга деформаций земной поверхности при освоении нефтегазовых месторождений: дис. ... канд. техн. наук. Алматы, 2006: 170. Рег. 0406PK00941n.
Zhardaev M.K. Improving the methodology for monitoring land surface deformation during the development of oil and gas fields: Dissertation for co-authorship with a candidate of engineering degrees. Almaty, 2006: 170. Reg. No. 0406PK00941.
8. Дорогова И. Е., Духовников К. С. Разработка геодинамического программного модуля для оценивания деформаций земной коры по результатам геодезических измерений. *Вестник СГУГиТ*. 2022; 27 (6): 15-27. (In Russ.).
Dorogova I.E., Dukhovnikov K.S. Development of a geodynamic software module for estimating crustal deformations based on the results of geodetic measurements. *Bulletin of SGUGiT*. 2022; 27 (6): 15-27. (In Russ.).
9. Кенесбаева А. Моделирование геодинамических процессов на территории нефтегазового месторождения Северные Бузачи: дис. ... д-ра фил. наук (PhD). Алматы, 2023: 88.
Kenesbayeva A. Modeling of geodynamic processes in the territory of the Northern Buzachi oil and gas field: dissertation for undergraduate degree of doctor of science (PhD). Almaty, 2023: 88. (In Russ.).
10. Бакиева А.Б. Уточнение геологического строения среднеюрских отложений месторождения Северные Бузачи с целью оптимизации освоения трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья: дис. ... канд. геол.-минералог. наук. Москва, 2014: 96.
Bakieva A.B. Clarification of the geological structure of the Middle Jurassic deposits of the Northern Buzachi field. Dissertation for undergraduate degree of candidate of geology and mineralogy. Moscow, 2014: 96. (In Russ.).
11. Мурзагалиев, Д.М. Сейсмо-геодинамические условия разработки нефтегазовых месторождений на шельфе Северного Каспия. *Геология, география и глобальная энергия*. 2011; 4 (43): 32-38.
Murzagaliyev, D.M. Seismic and geodynamic conditions for the development of oil and gas fields on the shelf of the Northern Caspian. *Geology, Geography and Global Energy*. 2011; 4 (43): 32-38. (In Russ.).
12. Сапарбекова М.А., Умирова Г.К., Ахметов Е.М. Геодинамический мониторинг недр на месторождении Северные Бузачи. *Труды Международных Сатпаевских чтений*. 2015; III: 49-54.
Saparbekova M.A., Umirova G.K., Akhmetov E.M. Geodynamic monitoring of subsoil at the Northern Buzachi field. *Proceedings of the Int. Satpayev Readings*. 2015; III: 49-54. (In Russ.).
13. Соляной П.Н. Оптимизация систем разработки залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения: дис. ... д-ра фил. наук. Уфа, 2018: 150.
Solyanoy P.N. Optimization of systems for developing oil deposits with a heterogeneous reservoir of complex structure: dissertation for co-authorship with a candidate of engineering degrees. Ufa, 2018: 150. (In Russ.).
14. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. Москва, 1987: 221.
Fadееv A.B. Finite element method in geomechanics. Moscow, 1987: 221. (In Russ.).
15. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. 7th ed. Oxford: Elsevier, 2013.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Айгуль Кенесбаевна Кенесбаева –

PhD, ассоциированный профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-0869-5762>;
e-mail: a.kenesbayeva@satbayev.university

Олжас Сейтботанович Курманбаев –

PhD, доцент, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>;
e-mail: olzhas_ak@list.ru

Руслан Сейтботанович Курманбаев –

докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0008-8060-036X>;
e-mail: a7754684124@gmail.com

Лутпулла Летинович Жалилов –

магистрант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0007-2700-9514>;
e-mail: geostock@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Aigul K. Kenesbayeva –

PhD, associated professor, Department of "Mining survey and Geodesy", Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-0869-5762>;
e-mail: a.kenesbayeva@satbayev.university

Olzhas S. Kurmanbayev –

PhD, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>;
e-mail: olzhas_ak@list.ru

Ruslan S. Kurmanbayev –

PhD student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0008-8060-036X>;
e-mail: a7754684124@gmail.com

Lutpulla L. Zhalilov –

master's student, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0007-2700-9514>;
e-mail: geostock@mail.ru

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.07.2026

Поступила после рецензирования: 07.08.2026

Принята к публикации: 13.08.2026

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 27.07.2026

Revised: 07.08.2026

Accepted: 13.08.2026

Разработка системы КРІ для реформирования способа сбора и утилизации твердых бытовых отходов

Ш. Ш. Бекбасаров✉, Ф. З. Юлдашева

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,

г. Алматы, Республика Казахстан

✉ Sh.bekbasarov@aes.kz

Резюме. Рассматриваются теоретические и практические аспекты реформирования системы сбора и утилизации твердых бытовых отходов в современных условиях. Цель исследования состоит в обосновании направлений совершенствования системы обращения с ТБО на основе анализа научных публикаций, международного опыта и актуальных проблем управления отходами.

Ключевые слова: ТБО, раздельный сбор, утилизация, переработка, циркулярная экономика, вторичные ресурсы, полигон, экологическая политика

Для цитирования: Бекбасаров Ш.Ш., Юлдашева Ф.З. Разработка системы КРІ для реформирования способа сбора и утилизации твердых бытовых отходов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 44-48. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-44-48>.

Development of a KPI system for reforming municipal solid waste collection and disposal methods

Sh. Sh. Bekbasarov✉, F. Z. Yuldasheva

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications

named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ Sh.bekbasarov@aes.kz

Abstract. The article examines theoretical and practical aspects of reforming the municipal solid waste collection and utilization system under modern conditions. The purpose of the study is to substantiate the directions for improving the waste management system based on the analysis of scientific publications, international experience, and current management challenges.

Keywords: municipal solid waste, separate collection, waste utilization, recycling, circular economy, secondary resources, landfill, environmental policy

For citation: Bekbasarov Sh.Sh., Yuldasheva F.Z. Development of a KPI system for reforming municipal solid waste collection and disposal methods. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 44-48. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-44-48>.

Введение

Проблема обращения с твердыми бытовыми отходами в XXI веке приобрела не только санитарное и экологическое, но и выраженное экономическое значение. Рост численности городского населения, изменение моделей потребления, увеличение объема упаковочных материалов, пластика, смешанных и трудно разлагаемых фракций привели к тому, что традиционная система, основанная преимущественно на вывозе отходов на полигоны, перестала соответствовать требованиям устойчивого развития. Современные научные исследования показывают, что отхо-

ды должны рассматриваться не только как экологическая нагрузка, но и как потенциальный источник вторичных материальных ресурсов. Такой подход соответствует концепции циркулярной экономики, в рамках которой приоритет отдается предотвращению образования отходов, повторному использованию, переработке и минимизации захоронения. В научной литературе подчеркивается, что устойчивое управление отходами требует системного охвата всех стадий обращения: от образования и накопления до сортировки, переработки, утилизации и конечного размещения. Так, в работе А. Pires с соавторами показано, что система сбора отходов

должна рассматриваться как центральный элемент всей системы управления отходами, а ее устойчивость зависит от правильной интеграции логистических, инфраструктурных, социальных и экономических решений [1].

Авторы обосновывают, что именно этап сбора определяет дальнейшую эффективность сортировки и переработки, поскольку качество материала во многом зависит от способа его накопления и разделения на исходном этапе.

Серьезное значение для осмысления данной проблемы имеют и современные обзорные исследования. В частности, Z. Zhang с соавторами подчеркивает, что в развивающихся странах и регионах наибольшими препятствиями для устойчивого управления отходами являются: несбалансированная нормативная база, недостаток перерабатывающих мощностей, неэффективная транспортная логистика и слабая экологическая культура населения [2]. Авторы делают вывод о том, что без перехода к системному раздельному сбору и повышению доли ресурсного использования отходов даже значительные инвестиции в полигоны не решают проблему в долгосрочной перспективе.

Для Казахстана тема реформирования системы сбора и утилизации ТБО является особенно актуальной. Это связано с неравномерным развитием коммунальной инфраструктуры, существенными различиями между регионами, недостаточным охватом населения эффективными схемами раздельного сбора и пока еще ограниченным уровнем развития отрасли переработки. В исследовании A. Nukusheva с соавторами отмечается, что в Казахстане сохраняются серьезные регуляторные барьеры в сфере обращения с муниципальными отходами, в том числе недостаточная правовая согласованность между экологическими целями, механизмами контроля и практикой функционирования отрасли [3]. Авторы подчеркивают, что без институциональной реформы и четкого распределения ответственности между участниками системы повысить эффективность обращения с отходами невозможно.

Пожоую позицию занимают A. Sopykhanova и ее соавторы, связывающие экологическую политику Казахстана в сфере природопользования с задачами достижения целей устойчивого развития [4]. По их мнению, нормативное регулирование в области обращения с отходами должно быть направлено не только на устранение последствий загрязнения, но и на формирование устойчивой системы экономических и управленческих стимулов, побуждающих к экологически ответственному обращению с отходами.

Практическую значимость имеет исследование B. Abylkhanі и соавторов, посвященное морфологическому составу твердых коммунальных отходов города Астаны. Авторы показали, что значительная часть отходов включает компоненты, пригодные для переработки и повторного использования, однако при смешанном накоплении и транспортировании их ресурсная ценность резко снижается [5]. Это позволяет сделать вывод о том, что реформа должна начинаться именно с этапа раздельного накопления у источника образования отходов. Таким образом актуальность темы определяется необходимостью перехода от инерционной модели «сбор – вывоз – захоронение» к модели, обеспечивающей ресурсосбережение, снижение экологической нагрузки и рост эффективности коммунального управления.

Цель исследования заключается в обосновании направлений реформирования системы сбора и утилизации твердых

бытовых отходов на основе анализа современных научных подходов и применимых управленческих решений.

Методы исследования

Методологическую основу исследования составил комплекс общенаучных и специальных методов, направленных на изучение системы обращения с твердыми бытовыми отходами как сложного многоуровневого объекта.

Во-первых, использован метод сравнительного анализа. Он позволил сопоставить различные научные подходы к реформированию систем обращения с отходами, выявить общие тенденции и определить универсальные факторы, влияющие на эффективность сбора и утилизации ТБО. Сравнивались работы, посвященные устойчивому сбору отходов, моделям логистики, экономическим стимулам, поведенческим механизмам участия населения и нормативному регулированию отрасли. Такой подход дал возможность не ограничиваться локальным рассмотрением проблемы, а выявить более широкие закономерности, подтвержденные международной практикой.

Во-вторых, применялся структурно-функциональный анализ, с помощью которого система обращения с ТБО была рассмотрена как совокупность взаимосвязанных элементов: образование отходов, накопление, сбор, транспортирование, сортировка, переработка, утилизация и конечное размещение. Преимущество данного метода состоит в возможности определить, какие именно звенья системы создают основные ограничения для повышения ее результативности. На основе этого метода удалось установить, что низкая эффективность утилизации в значительной степени определяется проблемами, возникающими уже на этапе первичного накопления и организации сбора.

В-третьих, был использован системный анализ, позволяющий рассматривать сферу обращения с отходами не изолированно, а в связи с экологической политикой, экономикой коммунального хозяйства, поведением населения и развитием перерабатывающей инфраструктуры. Именно системный подход дает возможность объяснить, почему даже наличие отдельных перерабатывающих предприятий не приводит автоматически к росту уровня переработки, если отсутствуют стабильные потоки отсортированного сырья, тарифные стимулы и координация между участниками системы.

В-четвертых, использовался метод обобщения научной литературы и прикладных кейсов. Были рассмотрены исследования, посвященные экономическим инструментам обращения с отходами, формированию экологического поведения домохозяйств, транспортной оптимизации и организационным моделям перехода к циркулярной экономике.

Таким образом, совокупность примененных методов позволила сформировать целостное представление о проблеме и определить научно обоснованные направления реформирования системы сбора и утилизации ТБО.

Система KPI реформирования управления твердыми бытовыми отходами

Ключевые показатели эффективности (Key Performance Indicators, KPI) представляют собой количественные метрики, позволяющие оценить прогресс в достижении стратегических целей. В сфере управления отходами KPI-системы активно применяются на уровне ЕС: Директива 2018/851 установила обязательные целевые показатели по переработ-

ке ТБО для всех государств-членов [6]. Методология разработки КРП в сфере управления отходами основывается на принципах SMART (конкретность, измеримость, достижимость, релевантность, ограниченность во времени) и должна учитывать три уровня: стратегический (национальный), тактический (региональный) и операционный (муниципальный) [7].

Экологические КРП отражают достижение основных природоохранных целей реформы (см. таблицу). Ключевым индикатором служит доля ТБО, направляемых на захоронение (Landfill Diversion Rate). В соответствии с европейскими стандартами, к 2030 году она должна быть снижена до 50 % от базового уровня. Уровень раздельного сбора (Separate Collection Rate) – отношение массы раздельно собранных отходов к общему объему образования ТБО – является опережающим индикатором, характеризующим вовлеченность населения в систему. Согласно рекомендациям UNEP, данный показатель должен достигать 30 % в течение пяти лет после начала реформы [8].

Дополнительными экологическими КРП являются: уровень переработки (Recycling Rate), показатель сокращения выбросов парниковых газов от объектов обращения с отходами и качество рекуперированных материалов (доля загрязнений в собранных фракциях).

Операционные КРП характеризуют эффективность функционирования системы управления ТБО. К ним относятся: охват населения услугами по раздельному сбору (Coverage Rate), периодичность вывоза отходов (Collection Frequency Index), процент жалоб на несвоевременный вывоз и коэффициент исправности парка спецтехники [9].

Показатель цифровой оснащенности системы (Digital Infrastructure Index) отражает долю контейнеров с IoT-датчиками и RFID-метками, долю маршрутов, оптимизированных с помощью алгоритмов, а также охват цифровыми инструментами мониторинга отходов на полигонах. Экономические КРП позволяют оценить финансовую эффективность реформы. Ключевым показателем является удельная стоимость обращения с отходами (Cost per Tonne), которая должна снижаться по мере оптимизации маршрутов и загрузки мощностей. По данным McKinsey, внедрение цифровых технологий способно снизить удельные затраты на 20–35 % [10].

Таблица / Table

Система КРП реформирования управления твердыми бытовыми отходами / KPI System for Reforming Solid Waste Management

Показатель КРП	Базовое значение	Целевое значение	Срок достижения
Доля захоронения отходов	85 %	50 %	2030 г.
Уровень раздельного сбора	8 %	40 %	2030 г.
Доля переработки ТБО	5 %	30 %	2030 г.
Охват цифровым мониторингом	0 %	80 %	2027 г.
Экономия бюджетных средств	—	15 %	2028 г.
Число экологических инцидентов	Базовый год	-50 %	2030 г.

Дополнительными экономическими показателями являются: объем доходов от реализации вторичного сырья, экономия от оптимизации маршрутов мусоровозов, объем привлеченных частных инвестиций в переработку и ресурс-

собоерегающий эффект (стоимость замещенных первичных ресурсов). Социальные КРП включают индекс удовлетворенности населения качеством услуг по вывозу отходов, уровень экологической грамотности (долю населения, правильно осуществляющего сортировку), количество рабочих мест в отрасли переработки и показатель социальной вовлеченности в экологические инициативы [11].

Эффективный мониторинг достижения КРП требует создания интегрированной цифровой платформы, объединяющей данные от всех участников системы управления ТБО: операторов по сбору и вывозу, сортировочных и перерабатывающих предприятий, полигонов, органов государственного управления и населения.

Архитектура платформы должна включать три уровня:

- уровень сбора данных (IoT-датчики, RFID-считыватели, весовые терминалы),
- уровень обработки и хранения (облачная инфраструктура, озеро данных),
- уровень визуализации и принятия решений (BI-дашборды, модели прогнозирования).

Аналогичный подход реализован в сингапурской платформе NEA и южнокорейской AllThingsWaste [11]. Институциональный механизм мониторинга предполагает четкое разграничение полномочий: Министерство экологии осуществляет стратегический мониторинг на национальном уровне, акиматы областей – региональный контроль, местные исполнительные органы – оперативный мониторинг деятельности операторов.

Ключевым элементом является независимый аудит КРП – ежегодная верификация достигнутых показателей независимой организацией. Практика независимого аудита применяется в системах РОП Германии, Франции и Великобритании и обеспечивает достоверность отчетных данных [12].

Реализацию реформы целесообразно осуществлять в три этапа:

Первый этап (2025–2027 гг.): создание нормативно-правовой базы, пилотное внедрение раздельного сбора в крупных городах, разработка и ввод в эксплуатацию цифровой платформы мониторинга.

Второй этап (2027–2029 гг.): масштабирование раздельного сбора, строительство мощностей по переработке, внедрение системы РОП.

Третий этап (2029–2031 гг.): переход к циркулярной экономике, достижение целевых КРП.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ показал, что низкая эффективность действующей системы обращения с твердыми бытовыми отходами во многом обусловлена ее линейным характером, ориентированным преимущественно на сбор, вывоз и захоронение отходов. Такой подход усиливает полигонную нагрузку и ограничивает вовлечение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот.

Установлено, что базовым условием реформирования системы является внедрение раздельного сбора отходов у источника их образования. Смешанное накопление приводит к загрязнению полезных фракций и увеличению затрат на сортировку, тогда как предварительное разделение повышает качество вторичного сырья и экономическую эффективность его переработки [13]. Результаты анализа морфологического состава отходов г. Астаны подтверждают наличие значитель-

ной доли компонентов, пригодных для повторного использования и переработки.

Важным направлением реформирования является модернизация логистики сбора и транспортирования ТБО. Раздельное накопление не обеспечивает необходимого эффекта без соответствующего разделения транспортных потоков. Оптимизация маршрутов, зонирование территорий, развитие сортировочных узлов и цифровой мониторинг позволяют сократить транспортные затраты и повысить объем извлечения полезных фракций [14].

Результаты исследования также показали необходимость совершенствования экономических и институциональных механизмов управления отходами. Тарифные инструменты, учитывающие объем смешанных отходов и качество сортировки, способны стимулировать участие населения и организаций в раздельном сборе. Одновременно требуется четкое разграничение полномочий между государственными органами, операторами, перевозчиками и перерабатывающими предприятиями. Особое значение имеют поведенческие факторы. Участие населения в раздельном сборе зависит от доверия к системе и прозрачности дальнейшего движения отходов. Поэтому экологическое просвещение, информирование населения, общественный контроль и обратная связь должны быть интегрированы в систему управления ТБО.

На основе проведенного анализа обоснован поэтапный переход к новой модели обращения с ТБО, включающей в себя:

- учет объемов и морфологического состава отходов;
- внедрение раздельного накопления;
- модернизацию транспортно-логистической и сортировочной инфраструктуры;
- развитие перерабатывающих мощностей и рынка вторичных ресурсов.

Цифровизация должна обеспечивать сквозной контроль данной цепочки посредством GPS-мониторинга транспорта, датчиков наполненности контейнеров и автоматизированного учета потоков отходов [15].

Таким образом, реформирование системы обращения с

ТБО должно быть направлено на снижение полигонной нагрузки и переход от модели удаления отходов к управлению материальными ресурсами в соответствии с принципами циркулярной экономики. Предлагаемая модель объединяет раздельный сбор, модернизацию инфраструктуры, цифровой мониторинг, экономическое стимулирование, институциональную координацию и повышение экологической культуры населения.

Выводы

1. Установлено, что действующая линейная система сбора и утилизации твердых бытовых отходов не отвечает современным экологическим и управленческим требованиям. Обоснована необходимость перехода к ресурсно-ориентированной модели, направленной на сокращение захоронения и увеличение переработки отходов.

2. Определено, что ключевыми направлениями реформирования являются внедрение раздельного сбора отходов у источника образования, модернизация транспортно-логистической системы, развитие сортировочной инфраструктуры и цифрового мониторинга потоков ТБО.

3. Разработана система КРП, включающая экологические, операционные, экономические и социальные показатели. В качестве целевых ориентиров для Казахстана к 2030 году предложено снижение доли захоронения отходов до 50 %, увеличение уровня раздельного сбора до 40 % и доли переработки до 30 %.

4. Предложена трехуровневая архитектура цифровой платформы мониторинга и институциональный механизм разграничения полномочий между национальными, региональными и местными органами управления, обеспечивающие контроль достижения КРП и корректировку управленческих решений.

5. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанной системы КРП и механизмов мониторинга при формировании региональных и муниципальных программ обращения с ТБО и совершенствовании экологической политики Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Pires A., Martinho G., Rodrigues S., et al. Sustainable Solid Waste Collection and Management. *Cham: Springer*, 2019: 332.
2. Zhang Z., Han Z., He P., et al. Municipal solid waste management challenges in developing regions: A comprehensive review and future perspectives for Asia and Africa. *Science of the Total Environment*. 2024; 930: 172188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172794>.
3. Nukusheva A., Bekezhanov D., Kunbolatova M., et al. Regulatory Obstacles in Municipal Solid Waste Management in Kazakhstan in Comparison with the EU. *Sustainability*. 2023; 15 (2): 1034. <https://doi.org/10.3390/su15021034>.
4. Sopykhanova A., Kaldybayev A., Tazhmagambetov A., et al. Problems of Legal Regulation and State Policy Measures Related to Nature Management in the Framework of Achieving the SDGs: Examples from Russia and Kazakhstan. *Sustainability*. 2023; 15 (2): 1042. <https://doi.org/10.3390/su15021042>.
5. Abylkhan B., Guney M., Aiyembetov B., et al. Detailed municipal solid waste composition analysis for Nur-Sultan City, Kazakhstan with implications for sustainable waste management in Central Asia. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021; 28. (9): 24406–24418. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08431-x>.
6. Directive 2018/851/EU amending Directive 2008/98/EC on waste. *Official Journal of the European Union*, L 150, 14.6.2018.
7. Parmenter D. Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs. 4th ed. *Hoboken: Wiley*. 2019: 312.
8. UNEP. Solid Waste Management: A Local Challenge with Global Impacts. *Nairobi: United Nations Environment Programme*, 2021.
9. Friege H. The German Packaging Ordinance and the Green Dot System. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012; 57: 64-71.
10. Management: Digital Technologies and their Impact on Costs. *New York: McKinsey Center for Government*, 2020.
11. National Environment Agency Singapore. *Zero Waste Masterplan*. *Singapore: NEA*, 2019: 128.
12. Duales System Deutschland. Annual Report 2022. *Cologne: DSD*, 2022.
13. Filimonova N., Birchall S. J. Sustainable municipal solid waste management: A comparative analysis of enablers and barriers to advance governance in the Arctic. *Journal of Environmental Management*. 2024; 371: 123111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123111>.
14. Iqbal A., Yasar A., Nizami A.-S., et al. Municipal Solid Waste Collection and Haulage Modeling Design for Lahore, Pakistan: Transition toward Sustainability and Circular Economy. *Sustainability*. 2022; 14 (23): 16234. <https://doi.org/10.3390/su142316234>.

15. Hirpe L., Yeom C. Municipal Solid Waste Management Policies, Practices, and Challenges in Ethiopia: A Systematic Review. *Sustainability*. 2021; 13 (20): 11241. <https://doi.org/10.3390/su132011241>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шакир Шарипович Бекбасаров –

д-р техн. наук, ассоциированный профессор, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0002-8892-2506>; e-mail: Sh.bekbasarov@au.es.kz

Феруза Зухридиновна Юлдашева –

магистрант, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0009-0008-0472-5937>; e-mail: f.yuldasheva@au.es.kz

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.07.2026

Поступила после рецензирования: 31.07.2026

Принята к публикации: 12.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Shakir Sh. Bekbasarov –

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-8892-2506>; e-mail: Sh.bekbasarov@au.es.kz

Feruza Z. Yuldasheva –

Master's student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0008-0472-5937>; e-mail: f.yuldasheva@au.es.kz

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 19.07.2026

Revised: 31.07.2026

Accepted: 12.08.2026

Геомеханическое моделирование напряженно-деформированного состояния карьерных откосов по данным комплексного геодезического мониторинга

Г. С. Мадимарова[✉], С. М. Алекпаев, А. М. Жумахан, Ш. А. Жантуева

*Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан*

[✉] madimarovagulmira69@gmail.com

Резюме. Представлены результаты комплексного исследования геотехнического состояния бортов карьера Шиилибулак Каратауского фосфоритоносного бассейна на основе геодезического мониторинга, дистанционного зондирования Земли и численного моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива. Целью исследования является выявление потенциально неустойчивых участков карьерных откосов и оценка их устойчивости для принятия инженерных решений по повышению безопасности открытых горных работ. Методика включает создание локальной геодезической сети, выполнение высокоточных GNSS-наблюдений, аэрофотосъемку с использованием беспилотного летательного аппарата, наземное лазерное сканирование, построение трехмерной цифровой модели карьера и моделирование напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов в программном комплексе Geostab. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем комплексного геомеханического мониторинга и прогнозировании деформационных процессов на карьерах со сложными горно-геологическими условиями.

Ключевые слова: геомеханика, устойчивость, горный массив, моделирование, откос, напряженно-деформированное состояние, БПЛА

Финансирование. Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК в рамках грантового финансирования ИРН № AP23489372.

Для цитирования: Мадимарова Г.С., Алекпаев С.М., Жумахан А.М., Жантуева Ш.А. Геомеханическое моделирование напряженно-деформированного состояния карьерных откосов по данным комплексного геодезического мониторинга. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 49-53. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-49-53>.

Geomechanical modeling of the stress-strain state of open-pit slopes based on integrated geodetic monitoring data

G. S. Madimarova[✉], S. M. Alekpayev, A. M. Zhumakhan, Sh. A. Zhantuyeva

*Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan*

[✉] madimarovagulmira69@gmail.com

Abstract. This paper presents the results of a comprehensive investigation of the geotechnical condition of the slopes of the Shiilibulak open-pit mine in the Karatau phosphorite basin, based on geodetic monitoring, remote sensing, and numerical modeling of the stress-strain state of the rock mass. The aim of the study is to identify potentially unstable slope sections and assess their stability to support engineering decisions aimed at improving the safety of open-pit mining operations. The proposed methodology includes the establishment of a local geodetic control network, high-precision GNSS observations, UAV-based aerial photogrammetry, terrestrial laser scanning, the development of a three-dimensional digital model of the open pit, and finite element modeling of the stress-strain state using the GeoStab software package.

The obtained results can be applied to the development of integrated geomechanical monitoring systems and to the prediction of deformation processes in open-pit mines under complex mining and geological conditions.

Keywords: geomechanics, slope stability, rock mass, numerical modeling, open-pit slope, stress-strain state, UAV

Funding. This study was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under grant funding from the Institute of Scientific Research No. AP23489372.

For citation: Madimarova G.S., Alekpayev S.M., Zhumakhan A.M., Zhantuyeva Sh.A. Geomechanical modeling of the stress-strain state of open-pit slopes based on integrated geodetic monitoring data. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 49-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-49-53>.

Введение

Многочисленные исследования, посвященные обеспечению устойчивости карьерных откосов, требуют дальнейшего совершенствования в связи с развитием современных технологий геомониторинга. Несмотря на широкое применение геомеханических и геодинамических исследований на горнодобывающих предприятиях Казахстана, полностью исключить возникновение техногенных аварий пока не удается.

Разработка месторождений сопровождается изменением естественного напряженно-деформированного состояния горного массива, поэтому важное значение имеет исследование его трещиноватости до начала и в процессе эксплуатации, особенно с увеличением глубины открытых горных работ и усложнением горно-геологических условий. Для обеспечения промышленной безопасности необходима достоверная информация о состоянии массива и факторах, определяющих развитие геомеханических процессов [1–3].

Эффективный контроль устойчивости карьерных откосов возможен на основе комплексного геомониторинга, объединяющего геологические, геофизические и геодезические данные с последующим моделированием напряженно-деформированного состояния массива. Полученные результаты используются для прогнозирования опасных зон и принятия решений по укреплению ослабленных участков.

Основой моделирования является высокоточная трехмерная модель карьера, формируемая по данным съемки беспилотными летательными аппаратами. Такие модели обеспечивают детальную информацию о пространственной структуре откосов и степени их нарушенности. Координаты, полученные традиционными геодезическими методами, применяются в качестве контрольных точек для оценки и повышения точности данных дистанционного зондирования [4–6].

Группа месторождений фосфоритоносного бассейна Каратау занимает обширную площадь, в ее состав входит месторождения Аксай, Шиилибулак, Баба-ата, Ушбас, Герес, Архарлы, Коксу, Акжар, Жанатас, Кобыртас, Северный Буркитти, Кокжон, Батырбай, Дегерес, Беркуты, Карашат, Жылан, Актас, Жетимтал, Алажар, Кыршабакты, Туйсейай, Тесиктас, Тамды, Арбатас, Чулактау, Жетимшоки.

На рисунке 1 представлено расположение наблюдательных пунктов геодезического мониторинга, созданных для контроля деформационных процессов на карьере Шиилибулак.

На космическом снимке представлена территория карьера Шиилибулак, расположенного в пределах Каратауского фосфоритового бассейна. Красным цветом обозначен исследуемый карьер, а зеленым – показаны четыре наблюдательных пункта геодезического мониторинга (ПП1 – ПП4), размещенные по периметру карьера. Пункты установлены с учетом геометрии горных выработок, конфигурации карьерных бортов и потенциально неустойчивых участков массива. Такое расположение обеспечивает создание локальной опорной геодезической сети для выполнения повторных высокоточных GNSS-наблюдений, определения пространственных

смещений, оценки устойчивости откосов и контроля развития деформационных процессов на всех этапах эксплуатации месторождения.



Рис. 1. Схема расположения наблюдательных пунктов геодезического мониторинга на космическом снимке карьера Шиилибулак / **Fig. 1.** Layout of geodetic monitoring observation points on a satellite image of the Shiilibulak quarry

Методы исследований

В данной работе авторами предложен способ моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива при открытой разработке карьера Шиилибулак фосфоритоносных месторождений бассейна Каратау с целью принятия управленческих решений по укреплению неустойчивых участков карьерных откосов, поставленных в предельное положение, который состоит из пяти этапов.

На первом этапе выполнялось исследование геолого-структурной характеристики фосфоритоносных месторождений бассейна Каратау путем изучения отчетов республиканского геологического фонда для создания базы геофизической и геологической информации исследуемого объекта по выявлению внутренней структуры и геометрии пространственного положения плоскостей тектонических нарушений, геологических дислокаций, зон неоднородностей и структурной нарушенности горного массива. На основании выполненного анализа определялись потенциальные зоны горного массива, склонные к обрушению из-за перераспределения напряжений в прибортовых массивах горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых, а также изучались физико-механические свойства горного массива карьера Шиилибулак фосфоритоносных месторождений бассейна Каратау [7, 8].

Для выполнения пространственной координатной привязки к пунктам маркшейдерской опорной сети карьера Шиилибулак осуществлялась съемка с помощью БПЛА. Исследование выполнялось по сохраненным координатам ГТС во время интенсивной разработки карьера Шиилибулак методом спутникового позиционирования. Измерения были проведены статическим способом с интервалом записи данных в 2 секунды, при этом приемники находились на каждой из точек, ограничивающих каждую сторону геодезической

сети. На основе полученных разниц координат в пространстве были рассчитаны изменения длин линий и высот между точками геодезической сети. Затем были построены полные векторы смещений точек, отражающие трендовые движения, произошедшие в течение этого времени, а также деформации, вызванные ими.

Для уточнения координат маркшейдерской опорной сети карьера Шиилибулак выполнены геодезические измерения методом спутникового позиционирования. В качестве исходных пунктов использованы пункты триангуляции Государственной геодезической сети, предоставленные филиалом Национального центра геодезии и пространственной информации. В качестве базовой точки и пересчета на WGS 84 использован пункт государственной геодезической сети Высота 813 ($X = 4800940.052$, $Y = 599146.703$, $Z = 812.735$).

Референционные базы были установлены на пунктах Государственной геодезической сети Высота 813. В качестве исходных данных приняты уравнированные координаты пунктов по определенным параметрам перехода с WGS84 в местную систему координат и высот, которые явились геодезической основой при выполнении наземного лазерного сканирования, результаты которого легли в основу моделирования напряженно-деформированного состояния карьерных откосов карьера Шиилибулак.

Для выравнивания геодезических измерений были применены два метода. Первый метод включал центрирование и ориентирование сети относительно условно неподвижной точки. Второй метод заключался в свободном выравнивании сети с последующим центрированием и ориентированием по методу наименьших квадратов с учетом минимизации суммы квадратов значений векторов смещений [9, 10].

Основными полезными ископаемыми являются фосфатные и кремнистые руды, использующиеся для производства желтого фосфора и концентрированных удобрений.

Мощность рудных тел (при нормальном залегании) колеблется от 5,74 до 21,2 м, суммарная мощность фосфоритных слоев достигает 45 м. Четкой закономерности в изменчивости мощности по падению и простиранию не наблюдается. Рудные тела представляют собой моноклинально падающий пласт фосфоритов с опрокинутым залеганием на юго-запад под углами 60–80°.

Основные физико-механические свойства разрабатываемых пород представлены в таблице.

Таблица / Table

**Физико-механические свойства пород /
Physical and mechanical properties of rocks**

Порода	Коэффициент крепости по шкале профессора Протодяконова	Объемный вес, т/м ³	Коэффициент разрыхления	Влажность, %
Фосфоритная руда	11	2,75	1,5	до 1
Доломиты	8–10	2,77	1,5	—/—
Известняки	8–10	2,8	1,5	—/—
Глинистые сланцы	5–8	2,71	1,5	—/—
Кремнистые сланцы	5–8	2,68	1,5	—/—
Кремни	12–15	2,7	1,3	—/—
Наносы	0,6–0,8	1,8	1,2	—/—

В качестве исходного пункта для установки базовой референционной станции выбран пункт Государственной геодезической сети Высота 813. Все статические измерения выполнены по базовой линии на данный пункт. Продолжительность наблюдения – 80 минут.

Схема проведения наблюдений приведена на рисунке 2.

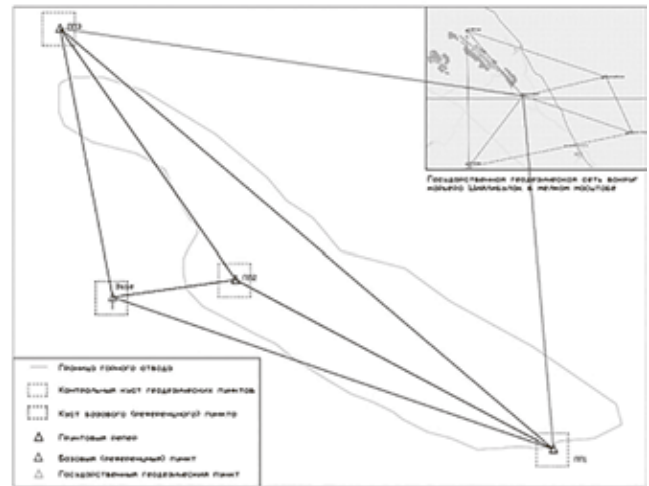


Рис. 2. Схема проведения наблюдений /
Fig. 2. Observation scheme

Измерения выполнялись ГНСС-оборудованием в режиме статики, методом сетевого позиционирования.

В процессе работы соблюдены следующие необходимые условия наблюдений:

- максимальное расстояние между приемниками – 5,0 км;
- минимальное количество наблюдаемых спутников для обработки – 8;
- интервал записи – 5 секунд;
- маска по углу возвышения – 10 градусов;
- точность получения координат: в плане – 0,002 м; по высоте – 0,002 м;
- GDOP (геометрия спутников) – менее 5;
- длительность наблюдений на точке – 80 минут.

Параметры трансформации с WGS-84 в местную систему координат и высот приведены на рисунке 3 [11–13].

Съемка БПЛА была обработана в Agisoft Metashape. Съемка со сканера обработана в Reconstructor. Обе съемки соединены в одно ПО Cloud Compare. Облако точек и 3D-модель созданы на основе двух средств измерений (сканер + БПЛА) и представлены на рисунке 3.

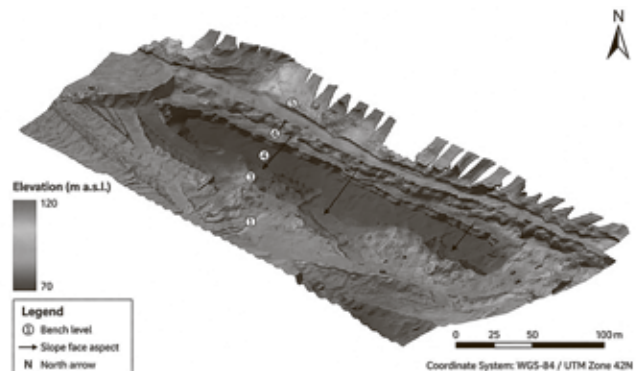


Рис. 3. 3D-модель карьера Шиилибулак /
Fig. 3. 3D model of the Shiilibulak quarry

На рисунке 3 показана цифровая модель рельефа с цветовой визуализацией высотных отметок. Цветовая шкала отражает распределение абсолютных высот поверхности исследуемого участка. Повышенные элементы рельефа отображаются теплыми цветами, тогда как пониженные участки выделены холодными оттенками. Такая модель позволяет количественно анализировать перепады высот, уклоны откосов и пространственное положение элементов карьерного рельефа.

Для построения геомеханической модели использованы оцифрованные контуры карьера Шишлыбулак. Путем совмещения этих контуров в привязке к системе координат создана однородная конечно-элементная 3D-модель месторождения.

При моделировании трехмерной области массива граничные условия определяются закреплением перемещений модели:

- плоскость XY (дно модели) закреплена по осям X , Y и Z ;
- плоскость YZ закреплена по осям X и Y ;
- плоскость XZ закреплена по оси Y .

Эта модель включает в себя цифровую трехмерную модель поверхности борта, полученную на основе фотограмметрической обработки данных БПЛА, опорные геодезические пункты (станции наблюдений), показанные синими условными знаками, размещенные за пределами зоны активных деформаций, измерительные направления (лучи визирования), обозначенные красными линиями, направленные от станций к контролируемым участкам борта, связи между опорными пунктами, выполненные синими линиями, формирующие пространственную геодезическую сеть и обеспечивающие избыточность и контроль точности измерений, профильные линии и характерные элементы рельефа, используемые для

анализа направлений возможных смещений и оценки устойчивости [14, 15].

Выводы

В результате выполненных исследований разработана комплексная методика оценки устойчивости карьерных откосов, основанная на совместном использовании высокоточных геодезических измерений, беспилотной аэрофотосъемки, наземного лазерного сканирования и численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Создана локальная геодезическая сеть, обеспечивающая высокоточную пространственную привязку результатов мониторинга и возможность выполнения повторных циклов наблюдений за деформационными процессами.

Построенная трехмерная цифровая модель карьера Шишлыбулак позволила детально воспроизвести геометрию карьерных откосов и использовать ее в качестве основы для геомеханического моделирования методом конечных элементов.

Практическая значимость выполненной работы заключается в создании научно обоснованной методики комплексного геомеханического мониторинга, позволяющей своевременно выявлять потенциально опасные зоны, прогнозировать развитие деформационных процессов и разрабатывать инженерные мероприятия по повышению устойчивости карьерных откосов. Предложенный подход может быть рекомендован для применения на других карьерах Каратауского фосфоритового бассейна и аналогичных объектах открытой разработки полезных ископаемых, где требуется обеспечение промышленной безопасности и повышение эффективности геомеханического контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Табылдиев К.Т., Киперман Ю.А., Тимченко А.И. Каратауский фосфоритный бассейн. Алма-Ата, 1970: 210. Tabyltdiev K.T., Kiperman Yu.A., Timchenko A.I. Karatau phosphorite basin. Alma-Ata, 1970: 210. (In Russ.).
2. Кривошеина М.И., Нурпеисова М.Б. Свойства горных пород Каратауского фосфоритового бассейна. *Свойства пород месторождений горнохимического сырья*. Под ред. М. Е. Певзнера. Москва, 1971: 87-104. Krivosheina M.I., Nurpeisova M.B. Properties of rocks. Karatau phosphorite-bearing basin. In the book. *Properties of rocks of deposits of mining and chemical raw materials*. Edited by M.E. Pevzner Moscow, 1971: 87-104. (In Russ.).
3. Нурпеисова М.Б., Бекбасаров Ш.С. Учет трещиноватости при исследовании деформации и сдвига горных пород. Горное дело: Сборник МВнССО КазССР. Алма-Ата, 1975; II: 134-137. Nurpeisova M.B., Bekbasarov Sh.S. Accounting for fracturing in the study of deformation and displacement of rocks. Sb. MViSSO KazSSR. Mining. Alma-Ata, 1975; II: 134-137. (In Russ.).
4. Козырев А.А., Панин В.И., Семенова И.Э. О геодинамической безопасности горных работ в удароопасных условиях на примере Хибинских апатитовых месторождений. *ФТПРПИ*. 2018. № 5. С. 33-44. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20180504>. Kozyrev, A.A., Panin, V.I., Semenova, I.E. On the geodynamic safety of mining operations under rockburst-hazard conditions: The case of the Khibiny apatite deposits. *Journal of Mining Science*. 2018; 5: 33-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20180504>.
5. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Москва, 1975: 378. Fisenko G.L. Stability of quarry and waste dump sides. Moscow, 1975: 378. (In Russ.).
6. Машанов А.Ж., Певзнер М.Е., Бекбасаров Ш.Ш. Устойчивость бортов карьеров Каратауского бассейна. Алма-Ата, 1981: 120. Mashanov A.Zh., Pevzner M.E., Bekbasarov Sh.S. Stability of the sides of quarries of the Karatau basin. Alma-Ata, 1981: 120. (In Russ.).
7. Певзнер М.Е., Иофис М.А., Попов В.Н. Геомеханика. Москва, 2005: 347. Pevzner M.E., Iofis M.A., Popov V.N. Geomechanics. Moscow, 2005: 347. (In Russ.).
8. Рахимов В.Р. и др. Прогнозирование трещиноватости массива горных пород с глубиной в шахтах Средней Азии. Ташкент, 1983: 158. Rakhimov V.R. et al. Prediction of fracturing of rock mass by depth in the mines of Central Asia. Tashkent, 1983: 158. (In Russ.).
9. Методические указания по постановке исследований сдвига горных пород на моделях. Ленинград, 1974: 65. Methodological guidelines for setting up studies of rock movement on models. Leningrad, 1974: 65. (In Russ.).
10. Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на рудных месторождениях с недостаточно изученным процессом сдвига горных пород. Ленинград, 1988: 48. Temporary rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining in ore deposits with an unexplored process of rock movement. Leningrad, 1988: 48. (In Russ.).
11. Черный А.Д., Терентьев В.И. Комплексная открыто-подземная разработка приповерхностных и подбурьерных запасов рудных месторождений. Москва, 1988: 244.

12. Cherny A.D., Terentyev V.I. Complex open-underground development of instrument and sub-barrier reserves of ore deposits. Moscow, 1988: 244. (In Russ.).
13. Экологическая и промышленная безопасность недропользования. Под общей редакцией М.Б. Нурпеисовой. Алматы, 2013: 434. Ecological and industrial safety of subsoil development/under the general editorship of M.B.Nurpeisova. Almaty, 2013: 434. (In Russ.).
14. Безруков П.Л. Геологическое строение фосфоритовосного Каратауского бассейна и основные результаты геологоразведочных работ. *Фосфориты Каратау*. Алма-Ата, 1954: 3-66. Bezrukov P.L. Geological structure of the phosphorite-bearing Karatau basin and the main results of geological prospecting works. *Phosphorites of Karatau*. Alma-Ata, 1954: 3-66. (In Russ.).
15. Мурсалимова Е.А., Шаймерденова А.А., Мадимарова Г.С. и др. Использование индекса NDVI при мониторинге земель фосфоритных месторождений. *Вестник Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева*. 2023; 3: 8896. https://doi.org/10.51885/1561-4212_2023_3_80. Mursalimova E.A., Shaimerdenova A.A., Madimarova G.S., et al. Using the NDVI index in monitoring the lands of phosphorite deposits. *Bulletin of the East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev*. 2023; 3: 88-96. (In Russ.). https://doi.org/10.51885/1561-4212_2023_3_80.
16. Мадимарова Г.С., Жантуева Ш.А., Танкаман Ж.А. Геодезические методы мониторинга техногенных систем месторождения Акбакай. *Материалы II Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых ученых»*. Алчевск, 2021: 95-97. Madimarova G.S. Zhantueva Sh.A., Tankaman Zh.A. Geodetic methods of monitoring technogenic systems of the Akbakai deposit. *II International Scientific and Practical Conference "Actual problems of modern science: the view of young scientists"*. Alchevsk, 2021: 95-97. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гулмира Сурабалдиевна Мадимарова –

канд. техн. наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-9155-6332>;
 e-mail: madimarovagulmira69@gmail.com

Султан Муратулы Алекпаев –

магистрант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0007-1542-055X>;
 e-mail: asel.zhumaxan@mail.ru

Асел Мусақызы Жұмахан –

магистрант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0007-1542-055X>;
 e-mail: asel.zhumaxan@mail.ru

Шинаркуль Абековна Жантуева –

старший преподаватель, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0009-0009-9630-4204>;
 e-mail: shnar19610408@gmail.com

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.07.2026
 Поступила после рецензирования: 11.08.2026
 Принята к публикации: 13.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Gulmira S. Madimarova –

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-9155-6332>;
 e-mail: madimarovagulmira69@gmail.com

Sultan M. Alekpayev –

master's student, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0007-1542-055X>;
 e-mail: asel.zhumaxan@mail.ru

Asel M. Zhumakhan –

master's student, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0007-1542-055X>;
 e-mail: asel.zhumaxan@mail.ru

Shinarkyl A. Zhantueva –

senior lecturer, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0009-0009-9630-4204>;
 e-mail: shnar19610408@gmail.com

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 27.07.2026
 Revised: 11.08.2026
 Accepted: 13.08.2026

Геодезическое обеспечение мониторинга Капчагайской гидроэлектростанции

Т. Б. Нурпеисова^{1✉}, Р. В. Шульц², Б. Мынгжасаров¹, О. Абил³

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан

²Университет нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM),
г. Дахран, Саудовская Аравия

³АО «Алматинские электрические станции» (АО «АлЭС»),
г. Алматы, Республика Казахстан

✉ t.nurpeisova@satbayev.university

Резюме. Приведены результаты мониторинга деформационных процессов гидротехнических сооружений Капчагайской гидроэлектростанции (ГЭС), находящейся в Алматинской области Республики Казахстан. Исследование направлено на обеспечение безопасной эксплуатации стратегических инженерных сооружений за счет проведения геодезического мониторинга с использованием современных технологий (спутниковые технологии, электронные и лазерные приборы), а также с использованием разработанных авторами средств измерений. Приведены рекомендации по совершенствованию методов геодезического мониторинга деформационных процессов Капчагайской ГЭС. Предложена усовершенствованная методика проведения геодезических работ и использования в них современных средств измерений. В результате проведенных научно-исследовательских работ созданы и внедрены в производство схема новой опорной геодезической сети Капчагайской ГЭС и опорный геодезический пункт принудительного центрирования, позволяющие повысить производительность и точность наблюдений. Новизна разработанной сети и конструкции пункта подтверждены патентами и свидетельствами РК.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, деформационные процессы, геодезический мониторинг, геодезические приборы, спутниковые системы, тригонометрическое нивелирование, высокоточные тахеометры, оценка точности

Благодарность, финансирование. Настоящее исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК (ГФ ИРН № AP26198837).

Для цитирования: Нурпеисова Т.Б., Шульц Р.В., Мынгжасаров Б., Абил О. Геодезическое обеспечение мониторинга Капчагайской гидроэлектростанции. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 54-59. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-54-59>.

Geodetic support for monitoring the Kapchagay hydroelectric power plant

T. B. Nurpeisova^{1✉}, R. V. Shults², B. Myngzhasarov¹, O. Abil³

¹Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

²King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM),
Dhahran, Saudi Arabia

³Almaty Electric Power Stations Joint Stock Company (AIES JSC)
Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ t.nurpeisova@satbayev.university

Abstract. This paper presents the results of a comprehensive investigation of the spatial and temporal deformation behavior of hydraulic structures at the Kapchagay Hydroelectric Power Plant located in a seismically active region of southeastern Kazakhstan. The research focuses on improving operational reliability through the implementation of an advanced geodetic monitoring framework integrating GNSS observations, robotic total stations, laser measurement technologies, and an original benchmark stabilization

concept. A redesigned local geodetic reference network was developed to ensure long-term stability of control points and to reduce systematic and centering errors. A newly engineered deep-foundation forced-centering benchmark was introduced into operational practice, significantly enhancing coordinate determination accuracy and measurement reproducibility.

The innovative character of the proposed network configuration and benchmark system is confirmed by patents issued in the Republic of Kazakhstan

Keywords: hydraulic structures, deformation processes, geodetic monitoring, geodetic instruments, satellite systems, trigonometric leveling, high-precision tachometers, accuracy assessment

Acknowledgments, Financing. This study was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (GF IRN No. AP26198837).

For citation: Nurpeisova T.B., Shults R.V., Myngzhasarov B., Abil O. Geodetic support for monitoring the Kapchagay hydroelectric power plant. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 54-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-54-59>.

Введение

Капчагайская гидроэлектростанция (ГЭС) является важным объектом энергетической инфраструктуры Казахстана. Надежность ее функционирования напрямую зависит от состояния гидротехнических сооружений, что делает регулярный мониторинг ключевым элементом обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации. Гидроэнергетика представляет собой значимый сектор стратегии Казахстана по диверсификации всего энергетического направления страны.

Строительство Капчагайской ГЭС было необходимо для обеспечения развивающегося города Алматы и ее городов-спутников недорогой электроэнергией. В настоящее время она стала важным фактором в развитии города Конаева, способствуя формированию коммунальной, образовательной, медицинской и культурной инфраструктур. Интенсивное развитие города Конаева, выражающееся в изменении его планировки появлением новых крупных объектов и сооружений, а также безопасной эксплуатации таких стратегических и ответственных инженерных сооружений, как Капчагайская ГЭС, достигается проведением геодезического мониторинга. В этом отношении изучение геодезического состояния урбанизированных территорий традиционными методами трудоемко, поэтому для таких участков исключительно необходим геодезический мониторинг с высокоточными приборами. 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.

Методы исследования

Обеспечение безопасной эксплуатации таких стратегических инженерных сооружений достигается проведением комплексного мониторинга с использованием GPS-технологий, электронного тахеометра, наземного сканирования, а также автоматизированных методов и средств наблюдений с соблюдением ряда условий.

Литературный обзор

При ведении геодезического мониторинга инженерных сооружений, в том числе гидротехнических, применяются разнообразные методы и средства измерений. Для наблюдения горизонтальных смещений успешно применяются GPS-технологии, электронные, лазерные и георадарные приборы, датчики и др. [1–4]. Строительство ГЭС, как и строительство любых других сооружений, требует создания опорной геодезической сети. Геодезическая сеть при строительстве гидротехнических сооружений должна быть создана в единой системе координат и иметь повышенную точность позиционирования пунктов. Опорные пункты геодезической сети должны быть расположены с учетом конфигурации наблюдаемого объекта. Важным моментом в проведении данных работ было использование при мониторинге современных приборов и различных средств контроля [5, 6].

Согласно правилам, утвержденным приказом Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, от 31 марта 2015 года № 19-4/286, гидротехнические сооружения, которые эксплуатируются более 25 лет, подлежат обязательному ежегодному многофакторному обследованию. Эти мероприятия направлены на выявление потенциальных рисков и поддержание безопасной эксплуатации объектов.

В Республике Казахстан также наблюдается активное развитие методов мониторинга деформаций ГТС. Согласно современным нормативным документам, таким как СН РК 8.02–05–2020 «Гидротехнические сооружения. Основные требования», эксплуатация гидротехнических сооружений предусматривает регулярный инструментальный контроль пространственных изменений элементов конструкций и своевременное проведение диагностических мероприятий. Данные нормы устанавливают обязательность многофакторных обследований, включая оценку деформаций, состояния несущих конструкций, а также влияние климатических и гидрологических факторов [7–9].

Результаты и обсуждения

Для выполнения мониторинга гидротехнического сооружения на его территории в 2024 году была создана геодезическая основа из 6 пунктов. Вся работа была выполнена GPS-системой, для сравнения результатов использован электронный тахеометр TCR1200 фирмы Leica Geosystem. От пунктов государственной геодезической сети Капчагай и Илийск были произведены измерения горизонтальных углов и базисных расстояний с предельными значениями невязок в треугольниках не более 5". Координаты геодезической основы определены в местной, а высотные – Балтийской системе.

высоты инструмента по сравнению с типовыми пунктами спутниковой геодезической сети.

На основе проведенных геодезических измерений геодезическая служба Капчагайской ГЭС была обеспечена опорными пунктами, координаты которых определены с высокой точностью (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1
Определенные координаты опорных пунктов /
Defined coordinates of control points

Название пунктов	Координаты		
	X	Y	H
ОП-1	9 932.883	5 772.581	484,448
ОП-3	9 426.282	5 536.157	484,364
ОП-2	9 292.339	5 173.581	484,452
ОП-4	8 779.933	6 918.410	484,384

Для анализа точности измерений, выполненных спутниковыми приемниками GPS, были проведены измерения электронным тахеометром TS16. Сравнительный анализ выполненных измерений (табл. 2) показал, что точность спутниковых измерений практически совпадает с точностью измерений электронным тахеометром.

Таблица 2 / Table 2
Сравнительный анализ спутниковых и линейных измерений /
Comparative analysis of satellite and linear measurements

От пункта	До пункта	Статический метод Trimble R10	Тахеометр. ход. Leica TS16	dS, м	Относительная погрешность
ОП-1	Капчагай Kapchagay	4360.5802	4360.583	-0.0028	1/1453476
ОП-1	Илийск Ilyysk	4669.0468	4669.047	-0.0002	1/1169115
ОП-3	Илийск Ilyysk	4947.2836	4947.285	-0.0014	1/989558
ОП-2	Капчагай Kapchagay	3552.2887	3552.286	0.0027	1/1700946
ОП-2	Илийск Ilyysk	3360.8790	3360.881	-0.002	1/3200589
ОП-4	Капчагай Kapchagay	4095.8684	4095.865	0.0034	1/2264294
ОП-4	Илийск Ilyysk	3755.5918	3755.589	0.0028	1/1173488
Примечание – среднеквадратическая погрешность				-0.0025	

GPS-технологии обрабатывают сигналы, полученные со спутников в глобальной системе позиционирования. Резуль-

татом является определение базовых линий (приращений координат точек по результатам спутниковых определений) в геоцентрической системе координат [13, 14].

На основании обработки полученных результатов установлено, что средние квадратические ошибки, вычисленные по отклонениям от среднего значения длин линий, составили для различных пар приемников от 0,8 до 1,1 мм.

По программе мониторинга деформации Капчагайской ГЭС в 2025 и 2026 годах мониторинг проводился с периодичностью 1 месяц в течение года, далее по результатам измерений не обнаружилось критических деформаций, соответственно, периодичность уменьшили [15]. Вышеперечисленные способы и методы были опробованы при мониторинге Капчагайской ГЭС.

Выводы

1. Комплексный мониторинг является ключевым инструментом для обеспечения безопасности и эффективной эксплуатации инженерных сооружений. Он позволяет следить за деформациями и перемещениями сооружений в реальном времени, обнаруживать возможные угрозы и риски, связанные с их состоянием, и предпринимать своевременные меры по предотвращению аварийных ситуаций.

2. Применение фундаментальных скальных реперов, грунтовых марок и пунктов принудительного центрирования обеспечивает высокий уровень точности измерений и минимизацию погрешностей. Сложившаяся геодезическая сеть предоставляет надежную основу для регулярного мониторинга, а применение геометрического нивелирования II класса точности позволяет оперативно выявлять даже минимальные отклонения в планово-высотных координатах.

3. Результаты мониторинга играют ключевую роль в обеспечении безопасности гидротехнических сооружений. Они позволяют своевременно выявлять возможные риски, разрабатывать рекомендации по укреплению и модернизации конструкций, а также продлевать срок их безопасной эксплуатации.

4. В результате проведенных научно-исследовательских работ создан и внедрен в производство разработанный опорный геодезический пункт принудительного центрирования, позволяющий повысить производительность и точность наблюдений.

5. Практическая значимость работы заключается в использовании результатов исследования в диссертационных работах магистрантов, докторантов, в учебном процессе Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева, также могут быть использованы для повышения уровня производственной безопасности на других строительных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Генике А.А., Черненко В.Н. Исследование деформационных процессов Загорской ГАЭС спутниковыми методами. *Геодезия и картография*. 2010; 5: 20-25.
Genike A.A., Chernenko V.N. Study of deformation processes of Zagorsk pumped storage power plant by satellite methods. *Geodesy and cartography*. 2010; 5: 20-25. (In Russ.).
- Никонов А.В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики. *Вестник СГГА*. 2013; 4 (24): 12-18.
Nikonov A.V. Features of application of modern geodetic instruments in monitoring the settlement and deformation of buildings and structures of energy facilities. *Bulletin of the SGGa*. 2013; 4 (24): 12-18. (In Russ.).
- Хиллер Б., Сухов И.В., Ли В.Т. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС. *Гидротехника*. 2015; 2: 12-15.

- Hiller B., Sukhov I.V., Li V.T. Automated deformation monitoring system (ASDM) at the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station. *Hydrotechnics*. 2015; 2: 12-15. (In Russ.).
4. Левитин Р.Е., Аксенов С.Е., Ульянкин Н.С., Терешонок А.П. Геодезический мониторинг деформаций надземных трубопроводов при использовании беспилотных летательных аппаратов в труднодоступных арктических районах. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024; 5: 114-119. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_114_119.
Levitin R.E., Aksenov S.E., Ulyankin N.S., Tereshonok A.P. Geodetic monitoring of deformations of aboveground pipelines using unmanned aerial vehicles in hard-to-reach Arctic regions. *Mine surveying and subsurface use*. 2024; 5: 114-119. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_114_119.
 5. Скрипников В.А., Скрипникова М.А. К вопросу проектирования схем планового обоснования для определения горизонтальных смещений гидротехнических. *ГЕО-Сибирь-2010. Т. 1: Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 1: сб. материалов VI Международного научного конгресса «ГЕОСибирь-2010»*, 19-29 апр. 2010 г. Новосибирск, 2010: 60-62.
Skrpnikov V.A., Skripnikova M.A. On the issue of designing schemes of planned justification for determining horizontal displacements of hydraulic engineering structures. *GEO-Siberia-2010. Vol. 1: Geodesy, geoinformatics, cartography, mine surveying. Part 1: collection of materials. VI Int. scientific congress "GEO-Siberia-2010"*, April 19-29, 2010. Novosibirsk, 2010: 60-62. (In Russ.).
 6. Нурпеисова М.Б., Шульц Р., Мынгжасаров Б. Совершенствование методики создания геодезической сети при строительстве гидротехнических сооружений. *Сб. материалов Международной научной школы академика К. Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр»*. Москва, 2020: 256-259.
Nurpeisova M.B., Shchulz R., Myngzhasarov B. Improving the methodology for creating a geodetic network during the construction of hydraulic structures. *Collection of materials from the International Scientific School of Academician K. N. Trubetskoy, "Problems and Prospects of Integrated Development and Conservation of the Earth's Subsoil"*, Moscow, 2020: 256-259. (In Russ.).
 7. Правила технической эксплуатации гидротехнических сооружений водного хозяйства: Приказ министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 31 марта 2015 года № 19-4/286. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 30 июня 2015 года № 11478. *Казахстанская правда*. 2016; 37.
Rules for the Technical Operation of Hydrotechnical Structures of the Water Management Sector. Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan No. 19-4/286 dated March 31, 2015. Registered in the Ministry of Justice of Kazakhstan on June 30, 2015, No. 11478. Kazakhstanskaya Pravda. 2016; 37. (In Russ.).
 8. СН РК 8.02-05-2020. Гидротехнические сооружения. Основные требования. Нур-Султан, 2020: 68.
SN RK 8.02-05-2020. *Hydrotechnical Structures. General Requirements*. Nur-Sultan, 2020: 68. (In Russ.).
 9. СН РК 2.03-30-2017. Строительные конструкции. Основные положения. Астана, 2017: 92.
SN RK 2.03-30-2017. *Building Structures. General Provisions*. Astana: Ministry of Construction of the Republic of Kazakhstan, 2017: 92. (In Russ.).
 10. Nurpeisova M., Burkhanov B., Myngzhasarov B., Kulibaba S. Monitoring of deformation processes of the earth surface and construction facilities in the territory of oil fields. *Eurasian mining*. 2021; 2: 86-91. <https://doi.org/10.17580/em.2021.02.18>.
 11. Шоломицкий А.А., Ханнанов Р.Р., Тутанова М.С. Методика геодезического мониторинга за насыпными гидротехническими сооружениями. *Вестник СГУГиТ*. 2023; 28 (5): 25-31. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-5-25-32>.
Sholomitsky A.A., Khannanov R.R., Tutanova M.S. Methodology for Geodetic Monitoring of Embankment-Type Hydrotechnical Structures. *Vestnik SSUGT*. 2023; 28 (5): 25-31. (In Russ.). <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-5-25-32>.
 12. Патент РК № 10736 от 20.06.2025 «Постоянный пункт принудительного центрирования приборов» (авторы: Мейрамбек Г., Нурпеисова М.Б., Рысбеков К.Б., Солтабаева С.Т. Ормамбеков Е.Ж., Киргизбаева Д.М.).
Patent of the Republic of Kazakhstan No. 10736 dated 20.06.2025. *Permanent Forced-Centering Benchmark Point* (Authors: Meirambek G., Nurpeisova M.B., Rysbekov K.B., Soltabayeva S., Ormambekov E.Zh., Kyrgyzbaeva D.M.). (In Russ.).
 13. Nurpeisova M., Myngzhasarov B., Kyrgyzbaeva D., Nukarbekova Zh. *Influence of Meteorological Factors on the Accuracy of Monitoring Results. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Series of Geology and Technical Sciences*. 2023; 5: 179-189. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.341>.
 14. Свидетельство РК №39036 о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты (произведение науки). Учет метеорологических факторов при мониторинге инженерных сооружений / Нурпеисова М.Б., Мынгжасаров Б., Киргизбаева Д.М. от 14.10.2023 г.
Certificate of the Republic of Kazakhstan No. 39036 (14.10.2023). *Accounting for Meteorological Factors in Monitoring Engineering Structures*. Authors: Nurpeisova M. B., Myngzhasarov B., Kyrgyzbaeva D. M. (In Russ.).
 15. Мынгжасаров Б., Киргизбаева Д., Орманбекова А., Нукарбекова Ж. Геодезический мониторинг деформационных процессов Капчагайской гидроэлектростанции. *Международная научно-техническая конференция «Перспективы применения цифровых технологий в рациональном и безопасном недропользовании»*. Ташкент, 2024; 86-91.
Myngzhasarov B., Kyrgyzbaeva D., Ormanbekova A., Nukarbekova Zh. Geodetic Monitoring of Deformation Processes at the Kapchagay Hydroelectric Power Station. *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Prospects for the Use of Digital Technologies in Rational and Safe Subsoil Use"*. Tashkent, 2021; 86-91. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Толеужан Байболовна Нурпеисова –

канд. техн. наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>;
e-mail: t.nurpeisova@satbayev.university

Toleuzhan B. Nurpeisova –

Cand. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0001-8162-6053>;
e-mail: t.nurpeisova@satbayev.university

Роман Владимирович Шульц –

д-р техн. наук, профессор, научный сотрудник Университет нефти и минералов имени короля Фахда (KFUPM), г. Дахран, Саудовская Аравия;
<https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>;
 e-mail: shultsrv@gmail.com

Roman V. Shults -

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Faculty Member, King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM), Dhahran, Saudi Arabia; e-mail: shultsrv@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0003-2581-517X>;
 e-mail: shultsrv@gmail.com

Бахытжан Мынгжасаров –

PhD докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), Республика Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0001-6912-2303>
 e-mail: bakha1000@gmail.com;

Bakhytzhon Myngzhasarov –

PhD student, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0001-6912-2303>;
 e-mail: bakha1000@gmail.com

Олжас Абил –

магистрант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), Республика Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0007-2700-9514>;
 e-mail: o.abil@mail.ru

Olzhas Abil –

Master's Student, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0007-2700-9514>;
 e-mail: o.abil@mail.ru

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.07.2026
 Поступила после рецензирования: 12.08.2026
 Принята к публикации: 17.08.2026

Article info

Received: 19.07.2026
 Revised: 12.08.2026
 Accepted: 17.08.2026

Методическая основа обоснования рациональных параметров откосов уступов и бортов карьера

Н. Ф. Низаметдинов¹, А. С. Туякбай², Р. Ф. Низаметдинов^{1✉},
А. Р. Естаева³, А. А. Турсынбеков⁴

¹Карагандинский технический университет имени А. Сагинова,
г. Караганда, Республика Казахстан

²Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова,
г. Астана, Республика Казахстан

³Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
г. Астана, Республика Казахстан

⁴Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

✉ niz36@mail.ru

Резюме. Разработан научно-методический подход к обоснованию рациональных параметров откосов уступов и бортов карьера, основанный на проведении комплексных геомеханических исследований горных пород непосредственно в прибортовых массивах по кернам специально пробуренных инженерно-геологических скважин для определения размеров структурных блоков, индекса качества массива и коэффициента структурного ослабления и параллельного лабораторного изучения прочностных и физических свойств горных пород. Оценка устойчивости бортов карьера определяется различными методами расчета, что позволяет убедиться в их надежности и хорошей сходимости. Рекомендуются прогрессивные параметры откосов уступов и бортов карьера при их высоте в 300 м с углами наклона до 50° при достаточном коэффициенте запаса устойчивости, который должен удовлетворять нормативным требованиям, выше 1,3.

Ключевые слова: борт карьера, инженерно-геологическая скважина, керн, образец, прочностные свойства горных пород, коэффициент структурного ослабления, индекс качества массива, методы расчета откосов, коэффициент запаса устойчивости

Для цитирования: Низаметдинов Н.Ф., Туякбай А.С., Низаметдинов Р.Ф., Естаева А.Р., Турсынбеков А.А. Методическая основа обоснования рациональных параметров откосов уступов и бортов карьера. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 60-65. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-60-65>.

Methodological basis for substantiating rational parameters of slopes ledges and sides of a quarry

N. F. Nizametdinov¹, A. S. Tuyakbay², R. F. Nizametdinov^{1✉},
A. R. Yestayeva³, A. A. Tursynbekov⁴

¹Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

²Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov,
Astana, Republic of Kazakhstan

³S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan

⁴Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ niz36@mail.ru

Abstract. A scientific and methodological approach has been developed to determine optimal parameters for the slopes of quarry benches and walls, based on comprehensive geomechanical studies of rock masses conducted directly in the rock masses adjacent to the quarry walls using core samples from specially drilled engineering-geological boreholes to determine the dimensions of structural

blocks, the massif quality index, and the structural weakening coefficient, as well as parallel laboratory studies of the strength and physical properties of the rock. The stability of quarry walls is assessed using various calculation methods, which confirms their reliability and good convergence. Progressive parameters are recommended for bench slopes and quarry walls with a height of 300 m and inclination angles of up to 50°, provided there is a sufficient stability margin—which must meet regulatory requirements—greater than 1.3.

Keywords: Quarry face, engineering-geological borehole, core, sample, rock strength properties, structural weakening coefficient, rock mass quality index, slope design methods, stability margin coefficient

For citation: Nizametdinov N.F., Tuyakbay A.S., Nizametdinov R.F., Yestayeva A.R., Tursynbekov A.A. Methodological basis for substantiating rational parameters of slopes ledges and sides of a quarry. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 60-65. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-60-65>.

Введение

Повышение устойчивости откосов уступов и бортов карьеров должно базироваться на детальном и комплексном изучении физико-механических свойств горных пород, особенностей структуры и трещиноватости прибортовых массивов, а также на использовании обоснованных методов расчетов по оценке устойчивости откосов, что позволяет отрабатывать месторождения максимально крутыми углами наклона откосов и сокращать объемы вскрышных работ либо дополнительно добывать запасы полезных ископаемых. С этой целью на стадии предполагаемой открытой разработки месторождений, особенно глубоких карьеров, предлагается закрепить методический подход. Помимо обычного геологического изучения строения месторождения следует особое внимание уделять прибортовым массивам путем дополнительного бурения геотехнических скважин, позволяющих детально изучить строение и структуру прибортовых массивов и определить прочностные свойства пород по кернам, отобранным из пробуренных скважин. В этом случае появляется уникальная возможность, используя полученные породные керны, определить размеры структурных блоков, элементы залегания трещин и разрывных нарушений для вычисления коэффициентов структурного ослабления, индекса качества массива и провести исследования взаимосвязей между структурными особенностями горного массива и глубиной их залегания с целью повышения надежности определения прочностных свойств горных пород в массиве, что позволяет в конечном итоге рекомендовать наиболее обоснованные параметры откосов уступов и бортов открытых разработок.

В начале геологической разведки по данным бурения инженерно-геологических скважин осуществляется лишь изучение геологического строения месторождения и общей структуры горного массива. Затем на основе дополнительно пробуренных геотехнических скважин в прибортовых массивах под углом наклона в 60° и направленных перпендикулярно к простиранию борта карьера, а также на основе изучения кернов, отобранных по всей глубине геотехнических скважин, как, например, С-20-02, С-20-03, С-20-04, С-20-05, С-20-06 на месторождении Кокташжал (рис. 1 и 2), определяются размеры породных блоков и их ориентировка.

При этом пробы отбирались из кернов для каждой литологической разности через 50-метровый интервал по высоте в количестве, достаточном для изготовления образцов к проведению испытаний на сжатие, разрыв, косой срез (с учетом существующих ГОСТов) [1–3]. Испытания проводились в сертифицированной лаборатории физики горных пород ТОО «Центргеоаналит» по всем выделенным типам пород. Надежность обоснования прочностных свойств горных пород основывается на результатах поинтервального из-

учения физических и прочностных свойств пород, а также на детальном обследовании состояния кернов на наличие в них трещин, зон ослаблений и заполнителей с целью вычисления коэффициентов структурного ослабления (λ_0) и показателя качества массива (RQD).

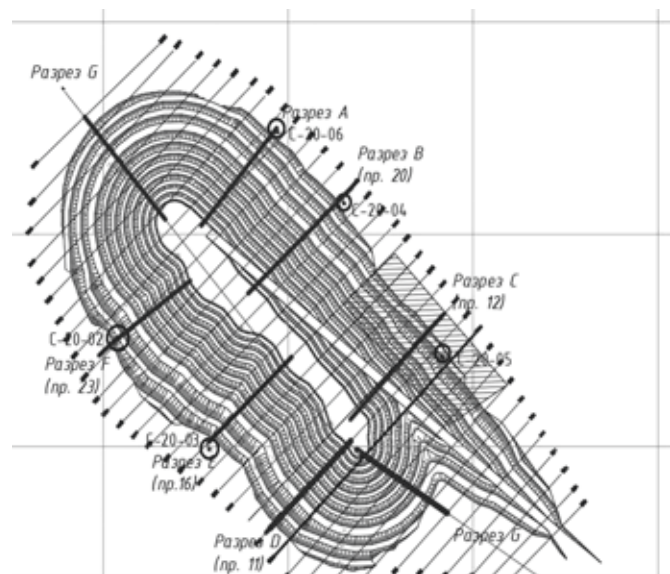


Рис. 1. План карьера с расчетными разрезами на месторождении /

Fig. 1. Mine plan with projected cross-sections of the deposit

Изучение структурных блоков определялось непосредственным исследованием кернов геологических скважин (рис. 3). Для чего фотографировались все керны, находящиеся в специальных деревянных ящиках. Затем изучалось состояние и характер трещин и разломов, включая их заполнители. При этом учитывалось наличие искусственных разрушений кернов при бурении и укладке их в упаковочные ящики. Выявлено, что кора выветривания колеблется в пределах 30–50 м. В геологической скважине С-20-05 обнаружена аномальная зона ослабления с поверхности до глубины 80 м. Поэтому более детально изучено геологическое строение в северной части юго-восточного борта, что позволило определить зону дробления пород в период образования месторождения.

Для надежного определения коэффициента структурного ослабления λ_0 проводился анализ изменения размеров структурных блоков по всей глубине пробуренных скважин (рис. 4), что позволило нам выявить логарифмическую зависимость [4, 5]: $\lambda_0 = -0,016 \ln(H) + 0,1272$ с величиной аппроксимации $R^2 = 0,978$. Это показывает наличие надежной связи между рассматриваемыми показателями, где H – глубина залегания породы. Зависимость обеспечивает возможность надежного перехода сцепления пород от образца к массиву.

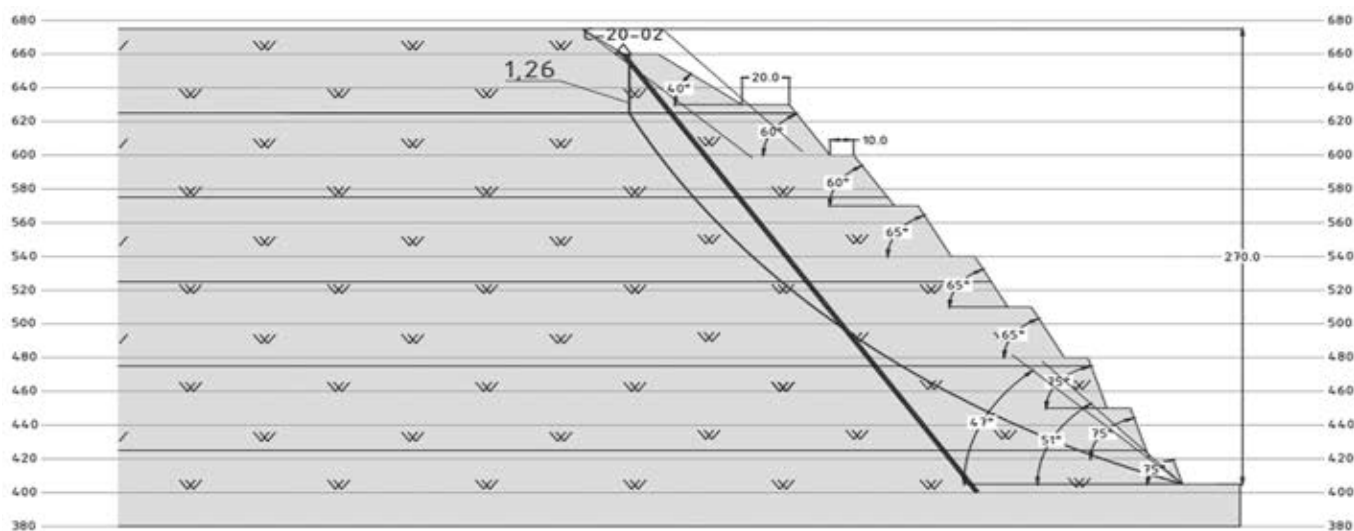


Рис. 2. Северо-западный борт: разрез F рядом с геологическим профилем 23, пробуренной скважиной C-20-02 /
Fig. 2. Northwest side: Section F near Geological Profile 23, drilled by Well C-20-02



Рис. 3. Фрагменты определения размеров структурных блоков по глубине пробуренной скважины C-20-02 /
Fig. 3. Excerpts from the sizing of structural blocks based on the depth of the drilled well C-20-02

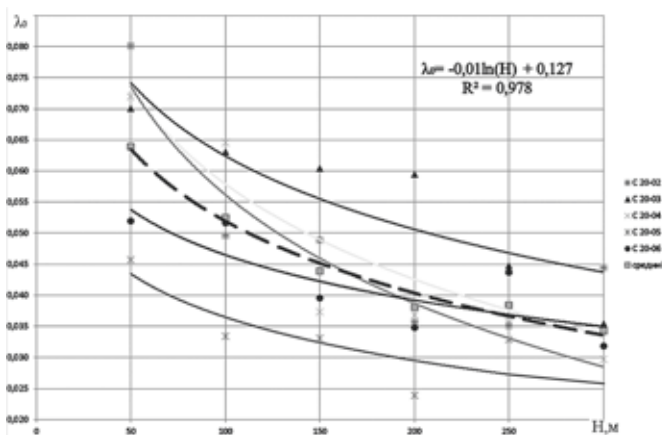


Рис. 4. График зависимости $\lambda_0 = f(H)$ /
Fig. 4. Graph of the relationship between $\lambda_0 = f(H)$

Для оценки устойчивости прибортовых массивов на примере карьера Коктасжал построены геологические разрезы по простираению бортов карьера (рис. 2) и обосновано сцепление в массиве K_m через вычисленный коэффициент структурного ослабления массива λ_0 (рис. 4) с использованием формулы $K_m = K_{обр} \lambda_0$, а затем и расчетное значение сцепления пород с учетом коэффициента запаса, равного 1,2–1,3.

Для сопоставления отечественных и мировых методов оценки устойчивости откосов использовался рейтинг по Хуку – Брауну с целью геомеханической оценки бортов карьера. В этом методе получаем оценку прочности массива горных пород, основанную на исследовании блочности

массива и состояния поверхностей нарушений (трещин) [5]. Данный показатель прочности использует шесть исходных параметров: прочность пород на одноосное сжатие; показатель качества пород RQD; расстояние между трещинами; состояние поверхности трещин; ориентацию простираения структуры и физико-механических свойств пород.

При определении рейтинговых показателей на карьере Коктасжал определено, что северо-восточный прибортовой массив относится к крепким и очень крепким породам. На глубинах до 22,0 м керны сильно разрушены, что подтверждает наличие интенсивной нарушения пород в коре выветривания. В данном анализе используется обобщенный критерий Хука – Брауна (сцепление в образце $K_{обр}$, геологический индекс прочности GSI, нарушенность приконтурного массива горных пород и структурный индекс пород).

Характерной особенностью механизма сдвижения массива является образование областей критических напряжений в откосе, что ведет к возникновению максимальных деформаций и инициирует процесс образования поверхности скольжения.

В настоящее время имеется достаточно большое количество различных методик расчета устойчивости карьерных откосов, что вызвано неопределенностью и разнообразием физической стороны механизма деформирования прибортового массива. Вследствие этого возникают трудности при определении оптимальной расчетной схемы, которая бы наиболее полно учитывала горно-геологические условия с требуемой точностью. Среди ученых-разработчиков наиболее популярных расчетных схем необходимо выделить Г. Л. Фисенко [1], В. Т. Сапожникова [1, 2], И. И. Попова [7], В. Н. Попова [3], Э. Л. Галустьян [2], Р. П. Окатова [7], П. С. Шпакова [3]. Профессор П.С. Шпаков предложил интегрирование сил по напряженной поверхности скольжения для учета межблочного взаимодействия сил [3]. Форма поверхности скольжения и ее положение определяются согласно результатам компьютерного расчета и получаемого коэффициента запаса устойчивости способом последовательных приближений. Численно-аналитический способ является более универсальным по сравнению с другими, так как позволяет учитывать такие геологические и техногенные факторы, как профиль борта, неоднородность породного массива, гидрогеологические условия, тектонические нарушения и др.

Программа Slide предназначена для оценки устойчивости цилиндрических и нецилиндрических поверхностей обрушения в скальных и земляных откосах. Программа анализирует устойчивость поверхностей скольжения, используя метод предельного равновесия вертикальных блоков, также известного, как метод Бишопа (Крея) и Спенсера, Ямбу и Феллениуса [5, 7]. Для проведения анализа может быть взята отдельная поверхность скольжения, также могут быть применены области центров, область откоса, область и линия поиска для определения местонахождения критических поверхностей с наименьшим коэффициентом для определенного участка исследуемого объекта. При выполнении расчетов в программу вводятся геометрические параметры борта карьера, а также нарушений и пород, слагающих прибортовой массив.

Оценка устойчивости бортов выполнена для предварительно отстроенных контуров карьера, которые впоследствии включены в технический проект отработки месторождения. Полученные результаты оценки устойчивости бортов карьера сведены в таблицу.

Таблица / Table

Результаты оценки устойчивости бортов карьера Коктасжал / Results of the Stability Assessment of the Koktaszhal Quarry Slopes

Разрез	Тип породы	Усредненные значения по борту			Высота борта, м	Угол наклона борта, градус	Коэффициент запаса устойчивости, η
		$K_{расч}$, кПа	$P_{расч}$, град	Плотность, $\tau/\text{м}^3$			
Разрез А (скв. 20-06)	Порфириты и кварциты	457,38	33,76	2,81	309	48/51	1,19
Разрез В (скв. 20-04)	Порфириты, кварциты, андезиты	480,44	34,43	2,75	315	46	1,31
Разрез С (скв. 20-05)	Порфириты, андезиты, кварциты	398,50	33,95	2,72	260,4	46/50	1,37
Разрез D	Порфириты, андезиты	497,62	34,28	2,82	278,3	46/52	1,26
Разрез E (скв. 20-03)	Порфириты, андезиты	497,62	34,28	2,82	279	46/52	1,24
Разрез F (скв. 20-02)	Порфириты, андезиты	450,84	34,33	2,83	270	47/51	1,26
Разрез G (северо-западный торец)	Порфириты, кварциты	457,38	33,76	2,81	309,1	49/52	1,19
Разрез G (юго-восточный торец)	Порфириты, андезиты, в том числе кварцевые	497,62	34,28	2,82	252,1	50	1,29

Анализ полученных результатов оценки состояния карьерных бортов показал, что прибортовые массивы устойчивы при соблюдении рекомендуемых параметров углов наклона откосов уступов и генеральной высоты бортов карьера, так как их коэффициенты устойчивости колеблются в пределах 1,19–1,37.

С целью сравнения значений коэффициента запаса устойчивости выполнен расчет в программе Phase2, который использует метод конечных элементов [5]. На рисунках 5 и 6 представлены результаты моделирования устойчивости бор-

та с пригрузкой в виде внешнего отвала. На рисунке 6 в массиве хорошо видны участки с максимальными значениями напряжений. Методики получения значения коэффициента запаса устойчивости (КЗУ) в программах, использующих метод предельного равновесия, и значения SRF (strength reduction factor – коэффициент снижения прочности) в конечных элементных программах различаются, но оба коэффициента численно выражают устойчивость прибортового массива. Согласно расчетам, минимальные значения составили 1,267 для программы Slide и 1,250 для программы Phase2.

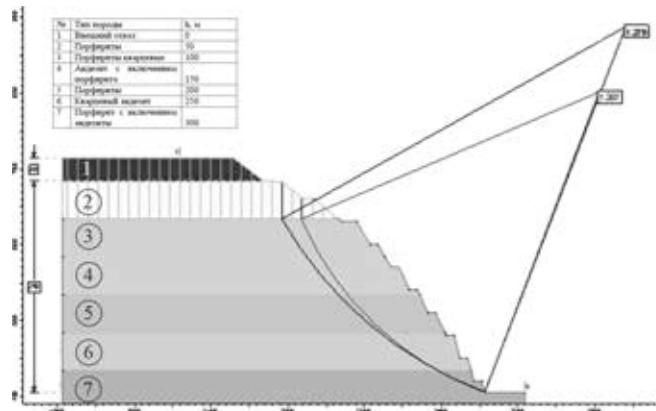


Рис. 5. Коэффициент запаса устойчивости бортов карьера в программе Slide по разрезу E /

Fig. 5. Stability margin coefficient for the quarry walls in the Slide program for Section E

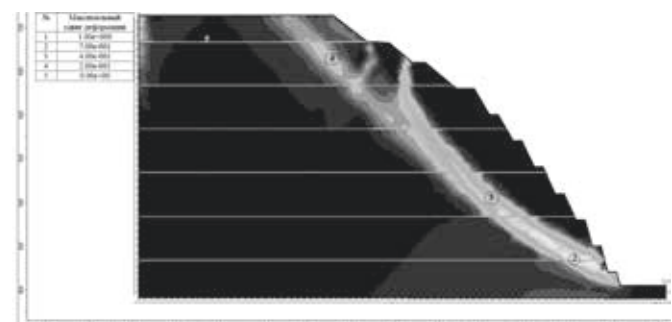


Рис. 6. Напряжения, возникающие в прибортовом массиве при сравнительном расчете в программе Phase2 (SRF = 1,25) /

Fig. 6. Stresses arising in the near-ship array during a comparative analysis in Phase2 (SRF = 1.25)

Обоснованные параметры откосов уступов и бортов меднорудного карьера Коктасжал включены в технический проект разработки месторождения, однако при постановке их в проектное положение на карьере должны быть использованы специальные технологические схемы заоткоски откосов уступов и обеспечено ведение мониторинга состояния прибортового массива [2, 3, 8, 9].

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложен методический подход по надежному обоснованию и обеспечению параметров устойчивых бортов карьера, основанный на проведении комплексных геомеханических исследований горных пород непосредственно в прибортовых массивах по кернам, полученным из специально пробуренных инженерно-геологических скважин, для

определения размеров структурных блоков, индекса качества массива и коэффициента структурного ослабления и параллельного лабораторного изучения прочностных и физических свойств горных пород.

2. Обоснованы коэффициенты структурного ослабления по всей глубине прибортовых массивов с учетом выявленной закономерности размеров структурных блоков с глубиной их залегания в виде логарифмической спирали функцией: $\lambda_0 = -0,016 \ln(H) + 0,1272$ с величиной аппроксимации $R_2 = 0,978$.

3. Выполнена оценка устойчивости бортов карьера раз-

личными методами расчета, что позволило убедиться в их надежности и хорошей сходимости численно-аналитического и рейтинговых систем расчета, которые осуществляются с использованием специальных программ.

4. Рекомендованы рациональные параметры бортов карьера Коктасжал, при высоте в 300 м углы их наклона колеблются от 46° до 52° с коэффициентом запаса устойчивости от 1,19 до 1,37, что позволяет говорить о достаточно устойчивом состоянии, которое отвечает нормативным показателям существующих методических указаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Москва, 1965: 378.
Fisenko G.L. Stability of Open Pit Slopes and Dumps. Moscow, 1965: 378. (In Russ.).
2. Галустян Э.Л. Управление геомеханическими процессами в карьерах. Москва, 1980: 237.
Galustyan E.L. Control of Geomechanical Processes in Open Pits. Moscow, 1980: 237. (In Russ.).
3. Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов. Москва, 2008: 683.
Popov V.N., Shpakov P.S., Yunakov Yu.L. Management of Open Pit Slope Stability. Moscow, 2008: 683. (In Russ.).
4. Низаметдинов Ф.К., Барышников В. Д., Жанатулы Е. и др. Обоснование и выбор расчетных параметров прочностных свойств горных пород для оценки устойчивости бортов карьеров. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2021; 3: 31-37. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210304>.
Nizametdinov F.K., Baryshnikov V.D., Zhanatuly E., et al. Justification and Selection of Design Parameters for Rock Strength Properties in Assessing Open Pit Slope Stability. *Physical and technical problems of mineral development*. 2021; 3: 31-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210304>.
5. Низаметдинов Н.Ф., Барышников В.Д., Нагибин А.А. и др. Обоснование параметров бортов карьера на примере месторождения Коктасжал (Казахстан). *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2022; 6: 26-33. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220401>.
Nizametdinov N.F., Baryshnikov V.D., Nagibin A.A., et al. Justification of Open Pit Slope Parameters: A Case Study of the Koktaszhal Deposit (Kazakhstan). *Physical and Technical Problems of Mining*. 2022; 6: 26-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220401>.
6. Nurpeisova M.B., Abenov A.M., Miletenko N.A. Highly efficient monitoring procedure for deformation prediction in copper ore mining. *Eurasian Mining*. 2023; 1: 19-24. <https://doi.org/10.7580/em.2023.01.04>.
Нурпеисова М., Рысбеков К., Касымканова Х. и др. Инновационные методы мониторинга деформационных процессов при освоении Жиландинских групп месторождений. *Труды КартУ им. Абылка Сагинува*. 2023; 5: 18-23.
7. Nurpeisova M., Rysbekov K., Kasymkanova H., et al. Innovative methods for monitoring deformation processes during the development of the Zhilandinsky groups of deposits. *Proceedings of the KARTU named after Abylks Saginov*. 2023; 5: 18-23. (In Russ.).
8. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права под названием: «Устойчивость карьерных откосов», № 126 от 26.01.2015, ИС 000641.5.
Certificate of State Registration of Copyright for the Intellectual Property Object entitled Open Pit Slope Stability. No. 126, dated January 26, 2015. IP No. 000641.5. (In Russ.).
9. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах открытых разработок. Санкт-Петербург, 1998: 164.
Regulations for Ensuring Slope Stability at Surface Coal Mines. Saint Petersburg, 1998: 164. (In Russ.).
10. Низаметдинов Ф.К. и др. Управление устойчивостью техногенных горных сооружений. Караганда, 2014: 657.
Nizametdinov F.K., et al. Management of the Stability of Man-Made Mining Structures. Karaganda, 2014: 657. (In Russ.).
11. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Утверждено МЧС РК за № 39 от 28.09.2008. URL: https://prg.kz/document/?doc_id=30399772.
Guidelines for Monitoring Deformations of Open Pit Walls, Bench Slopes and Waste Dumps and for Developing Measures to Ensure Their Stability. Approved by the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, Order No. 39, September 28, 2008. (In Russ.). URL: https://prg.kz/document/?doc_id=30399772.
12. Kassymkanova K.K., Rysbekov K.B., Nurpeisova M.B., et al. Numerical Modelling of Stress–Strain State During Combined Mining of Zhilandy Group of Deposits. *ES Energy and Environment*. 2026; 31: 1909. <https://doi.org/10.30919/ee1909>.
13. Amralinova B.B., Soltabaeva S.T., et al. Geophysical studies of rock distortion in mining operations in complex geological conditions. *Int. Archives Photogrammetry, Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2023; 48: 57-62. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-5-W2-2023-57-2023>.
14. Nurpeisova M.B., Salkynov A.T., Soltabayeva S.T., et al. Patterns of development of geomechanical processes during hybrid open pit/underground mineral mining. *Eurasian Mining*. 2024; 1: 7-11. <https://doi.org/10.17580/em.2024.01.02>.
15. Низаметдинов Ф.К., Нагибин А.А., Левашов В.В. и др. Натурные методы исследования прочностных свойств горных пород и породных контактов. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2016; 2: 26-33.
Nizametdinov F.K., Nagibin A.A., Levashov V.V., et al. Field Methods for Investigating the Strength Properties of Rocks and Rock Contacts. *Physical and Technical Problems of Mining*. 2016; 2: 26-33. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Наиль Фаритович Низаметдинов –

канд. техн. наук, Карагандинский технический университет
имени А. Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Асем Сериккызы Туякбай –

PhD, Казахский университет технологии и бизнеса имени
К. Кулажанова, г. Астана, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Ринат Фаритович Низаметдинов –

канд. техн. наук, Карагандинский технический университет
имени А. Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-5857-3886>; e-mail: niz36@mail.ru

Айгерим Рахмановна Естаева –

магистр техн. наук, Казахский агротехнический
исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
г. Астана, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Азат Арнатулы Турсынбеков –

магистр техн. наук, Казахский национальный
исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан;
<https://orcid.org/0009-0005-2917-1334>;
e-mail: azat_t@icloud.com

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над
статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 30.07.2026
Поступила после рецензирования: 13.08.2026
Принята к публикации: 26.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Nail F. Nizametdinov –

Cand. Sci. (Eng.), Abylkas Saginov Karaganda Technical
University, Karaganda, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-8881-1259>

Assem S. Tuyakbay –

PhD, Kazakh University of Technology and Business named
after K. Kulazhanov, Astana, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Rinat F. Nizametdinov –

Cand. Sci. (Eng.), Abylkas Saginov Karaganda Technical
University, Karaganda, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-5857-3886>; e-mail: niz36@mail.ru

Aigerim R. Yestayeva –

Master Sci. (Eng.), S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research
University, Astana, Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0000-0002-7242-0931>

Azat A. Tursynbekov –

Master Sci. (Eng.), Kazakh National Research Technical
University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty,
Republic of Kazakhstan;
<https://orcid.org/0009-0005-2917-1334>;
e-mail: azat_t@icloud.com

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the
work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 30.07.2026
Revised: 13.08.2026
Accepted: 26.08.2026

Study of the application of ash and slag waste in building materials production technology

M. Begentayev¹, Ye. Kuldeev¹, M. B. Nurpeisova^{1✉}, Sh. Bekbassarov², A. A. Bek¹

¹Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev
(Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan

²Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Republic of Kazakhstan

✉ marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Abstract. The article presents the results of an assessment of the impact of ash dumps on the natural environment in the conditions of coal burning at the Ekibastuz deposit in Kazakhstan. It is shown that huge amounts of ash dumps have accumulated on the territory of the Ekibastuz GRES-2 ash storage facility and in the Almaty region as a result of the activities of three thermal power plants, which significantly pollute the environment. The possibilities of obtaining high-demand building materials from them have been identified.

Keywords: ash and slag waste, analysis, pollution, ecology, secondary resources, building materials

Acknowledgment, funding. This research was carried out within the framework of grant funding from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan BR21882292.

For citation: Begentayev M., Kuldeev Ye., Nurpeisova M.B., Bekbassarov Sh., Bek A.A., Study of the application of ash and slag waste in building materials production technology. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 66-70. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-66-70>.

Исследование золошлаковых отходов в технологии производства строительных материалов

М. Бегентаев¹, Е. Кулдеев¹, М. Б. Нурпеисова^{1✉}, Ш. Б. Бекбассаров², А. А. Бек¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан

²Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Республика Казахстан

✉ marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Резюме. В статье приведены результаты оценки влияния золоотвалов на природную среду в условиях сжигания углей Экибастузского месторождения Казахстана. Показано, что на территории золохранилища Экибастузской ГРЭС-2 и в Алматинской области в результате деятельности трех тепловых электростанций накопились огромные количества золоотвалов, существенно загрязняющих окружающую среду. Определены возможности получения из них востребованных строительных материалов.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, анализ, загрязнение, экология, вторичные ресурсы, строительные материалы

Благодарность, финансирование. Данное исследование выполнено в рамках грантового финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан BR21882292.

Для цитирования: Бегентаев М., Кулдеев Е., Нурпеисова М.Б., Бекбассаров Ш.Б., Бек А.А. Исследование золошлаковых отходов в технологии производства строительных материалов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 66-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-66-70>.

Introduction

Kazakhstan has a significant number of thermal power plants. Every year, the amount of ash and slag waste (ASW) generated at combined heat and power plants (CHPs), state district power plants (SDPPs), as well as in boiler houses increases. The fuel and electricity complex is one of the main “pollutants” of the natural environment [1-3]. By burning coal, enterprises obtain thermal energy and generate electrical energy. Negative side of this process is formation of by-products of coal combustion - fly ash and slag.

It is known that storing ash and slag waste is a very expensive undertaking. According to expert estimates, investments in the reconstruction of one ash and slag dump can reach 5 billion tenge, and construction of a new one costs 10-12 billion tenge. Storage of ash and slag waste not only leads to the withdrawal of significant land areas, but also causes very significant environmental pollution [4, 5].

Deterioration of ecological situation is reasonably linked to atmospheric pollution. Long-term storage of thermal energy waste in ash dumps contributes to harmful substances and heavy metal ions entering the water and soil. The anthropogenic component of formation of water surface quality is already commensurate with the natural component, which poses a threat to sustainable water use. The annual yield of ash, ash and slag mixtures from coal combustion in ash dumps in Kazakhstan is more than 17 million tons. Over 300 million tons of ash wastes have been accumulated in ash dumps [6, 7].

Electricity production development and recycling of TPP waste, in particular, ash from coal combustion, is one of the main state priorities of Kazakhstan. Figure 1 shows volumes of ash and slag waste generation by Kazakhstan regions in 2025 [8, 9].

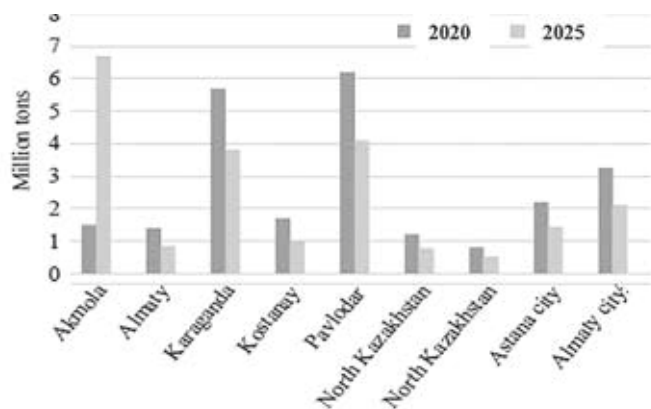


Fig. 1. Formation of ash and slag waste in the regions of the Republic of Kazakhstan

Remaining regions of Kazakhstan use gas fuel. In Kazakhstan, about 8% of ash (less than 1.9 million tons) from coal ash and slag waste produced by thermal power plants and state district power plants is processed at the research and production level. If the ASW use remains at this level, then by 2030 volume of accumulated waste will reach 1 billion tons [10, 11].

One of the largest thermal power plants in Kazakhstan is Almaty Electric Station CHPP-3 JSC, which provides energy to about 70% of consumers in the Almaty region. Waste from CHPP-3 is not processed, and current ash waste accumulates and occupies huge areas, which removes it from land use. Storage of ash and slag waste not only leads to withdrawal of significant land areas, but also causes very significant pollution of almost all environmental components in the area where they are located.

The purpose of this work is to study the properties of ash and slag waste from coal burning at the Ekibastuz deposit in Kazakhstan, evaluate them as a source of contamination of the natural environment and determine the possibility of obtaining demanded building materials from them.

Methods and object of research

To determine the phase composition of the studied material, an upgraded DRON-3M diffractometer based on CuK α radiation with software was used. X-ray images of the sample were obtained in the range of 2° (angles) from 10 to 70°. The chemical composition was determined using an EDX-8000 energy dispersion spectrometer. A micrograph of fly ash was taken using a Superprob-733 scanning electron microscope.

The object of the study is the elemental composition of ash and slag waste from CHP-2.

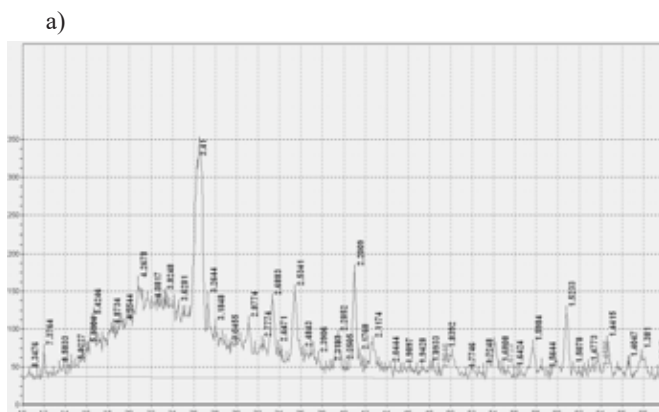
At the TPP-2 ash dump, ordinary samples weighing from 3-5 to 15-16 kg were taken, of which group samples were subsequently compiled [12].

The results of the study and their discussion

Primary laboratory tests

Intensification in this direction involves the use of industrial waste instead of primary natural resources in order to reduce the cost of building materials. In this area, scientists at Satbayev University are conducting a large amount of research on the production of secondary raw materials based on industrial waste [13]. By burning coal, thermal power plants receive thermal energy and generate electrical energy. The negative side of this process is the formation of byproducts of coal combustion – fly ash and slag. The composition of the ash and slag material was determined by the quantitative ratio of the minerals included in it, which depend on the mineralogical composition of the initial part of the fuel. An X-ray diffractometer DRON-3 was used to obtain an X-ray image of the TPP-2 ash, which is shown in Figure 2.

The fly ash has the following chemical composition, %: SiO₂ – 57.7; Al₂O₃ – 29.6; (Fe₂O₃ + FeO) – 6.4; CaO – 1.1; MgO – 0.35; SO₃ – 1.3; K₂O – 0.03; Na₂O – 0.52; LOI – 3.0. Only the glassy phase containing microspheres exhibits pozzolanic and hydraulic activity; mullite (3Al₂O₃·2SiO₂), quartz (SiO₂), sillimanite (Al₂O₃), hematite (Fe₂O₃), and carbon (C) are inactive. Trace elements (P, Sc, Mn, Pb, Ti, As, Zr, Ge, Ga, W, Ni, Cr) are incorporated into minerals and the glassy phase. Specific surface area – 290 m²/kg; true density – 2.1 g/cm³; bulk density – 780 kg/m³. Microphotograph (Fig.2, b) shows spherical vitreous hollow particles ranging from 1 to 50 μm, with larger spheres containing smaller inclusions and adhered fine satellites.



b)

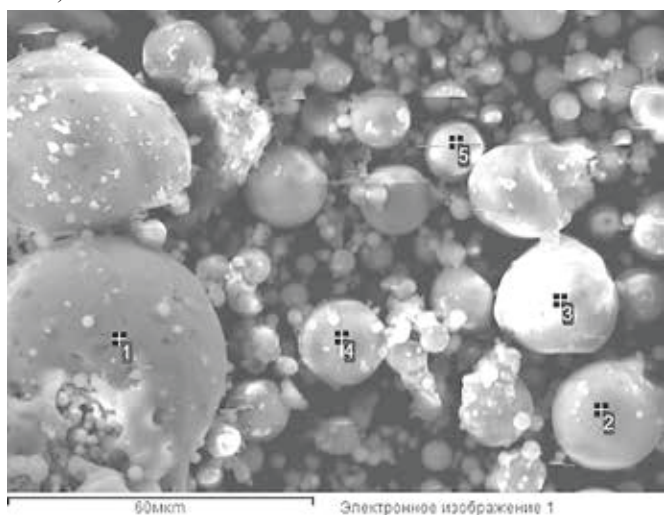


Fig. 2. X-ray diffraction pattern (a) and microphotograph (b) of fly ash

Research and production of secondary raw materials

One of the most promising areas is the involvement of industrial waste, in particular the ash of thermal power plants, in the composition of building materials. This approach allows us to simultaneously solve three key tasks: economic, technological and environmental. From an economic point of view, the use of ash provides a significant reduction in costs by replacing some of the cement and natural aggregates, which is especially important in the context of rising prices for raw materials. On the technological side, ash acts as an active mineral component that improves the physical and mechanical properties of building materials, increasing their strength, durability and resistance to environmental influences. The environmental aspect is expressed in reducing the volume of waste to be disposed of in landfills, which reduces the anthropogenic load and promotes the transition to the principles of "Green Kazakhstan" [14].

Within the framework of the state-supported Program-Targeted Financing (PTF) program, Politech Construction LLP was established at Satbayev University to implement innovative technologies for recycling ash-containing waste into construction materials. The company is currently engaged in processing ash accumulated at the ash disposal sites of Almaty CHPP-2 and CHPP-3, transforming it into valuable secondary raw materials for the production of advanced construction materials [15]. As a result of the conducted research and development, the following outcomes were achieved:

- a method has been developed for producing an ash-containing binder, the technical novelty of which is confirmed by a patent of the Republic of Kazakhstan¹;
- a method has been developed for producing non-autoclaved reinforced concrete from the ashes of Ekibastuzskaya GRES-2, the technical novelty of which is confirmed by a patent of the Republic of Kazakhstan²;

¹ Patent № 8579 of the Republic of Kazakhstan "Method for producing ash-containing binder" (authors: Kuldeev E.I., Nurpeisova M.B., Estemesov Z.A., Lozinsky V.G., Bek A.A., Ashimova A.A.). dated October 27, 2023.

² Patent № 8580 of the Republic of Kazakhstan "Composition and method of producing ash and gas concrete of non-autoclave hardening (authors: Kuldeev E.I., Nurpeisova M.B., Estemesov Z.A., Lozinsky V.G., Bek A.A., Ashimova A.A.) dated on October 27, 2023.

– a method has been developed for producing agaporite, a filler for light concrete from the ashes of Ekibastuz coal. The technical novelty of the obtained agglomeration aggregate for light concrete is confirmed by the author's certificate³;

– a composition and preparation method for geopolymer ash concrete were developed⁴;

– a composition and preparation method for self-compacting ash concrete were developed⁵;

– a raw material mixture for splitter ash blocks and a method for its preparation were developed⁶;

– a composition and preparation method for ash fiber-cement facade panels were developed⁷.

Based on the results of scientific research, a technology for the production of ash and slag-containing building materials has been developed (Fig. 3).

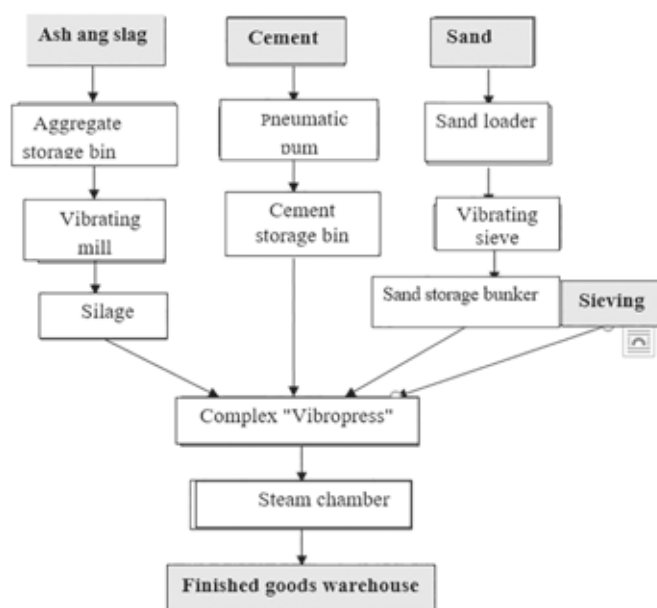


Fig. 3. Technological scheme of production of ash and slag materials

The introduction of ash and slag waste makes it possible to significantly change the cost structure. In the traditional production cycle, cement accounts for up to 45-50% of costs.

³ Author's certificate No. 44179 RK for a work of science dated 02.02.2024. Method for obtaining agloporite - filler for lightweight concrete from ash dumps of the city of Almaty. (authors: Nurpeisova M.B., Begentaev M.M., Kuldeev E.I., Nurlybaev R.E., Orynbekov E.S.)

⁴ Patent № 37695 of the Republic of Kazakhstan «Composition and method of preparation of geopolymer gold concrete» (Authors: Nurpeisova M., Kuldeev Ye., Nurlybayev R., Orynbekov Ye., Bek A.). dated 19.12.2025.

⁵ Patent № 37888 of the Republic of Kazakhstan "Composition and method of preparation of self-compacting gold concrete" (Authors: Nurpeisova M., Begentayev M., Kuldeev Ye., Bek A.). or 19.12.2025. dated 13.03.2026.

⁶ Patent № 37063 of the Republic of Kazakhstan "Raw mixture for splitter ash block and method of preparing the mixture" (Authors: Nurpeisova M., Begentayev M., Kuldeev Ye., Nurlybayev R., Orynbekov Ye., Bek A.). dated 29.05.2026.

⁷ Patent № 38127 of the Republic of Kazakhstan "Composition and method of preparation of ash fiber cement panels for facades" (Authors: Nurpeisova M., Begentayev M., Nurlybayev R., Bek A.). dated 10.07.2026.



Fig. 4. Mobile workshop for the production of ash and slag products of Politech Construction LLP and finished products

Its partial replacement with ash in the range of 15-20% provides savings of about 20-25 tenge per unit of production. In addition, the use of ash and slag components instead of some natural aggregates (sand and crushed stone) reduces the cost by another 10-15 tenge per block. The inclusion of ash in the production process also reduces the cost of industrial waste disposal and reduces payments for landfill disposal, which is especially important for regions with large thermal power plants. Thus, the analysis of the production activities of Politech Construction LLP demonstrates that the introduction of ash-containing waste not only reduces the cost of production, but also generates a significant socio-environmental effect. In addition to direct financial indicators, the environmental impact is also an important factor. The use of ash-containing waste helps to reduce the burden on landfills of solid household waste, minimizes

environmental damage and complies with the principles of "Green Kazakhstan". In the context of government policy aimed at sustainable development and resource conservation, this opens up additional opportunities for attracting subsidies and grants, as well as increases the investment attractiveness of the company (photo).

Conclusions

Ash and slag waste from the Almaty Thermal power Plant is both a source of soil contamination and a profitable and promising raw material in terms of chemical composition and properties. They can be attributed to man-made mineral raw materials, which, unlike natural ones, accumulate over time rather than deplete, which increases the prospects for their study and involvement in use. Consequently, the processing of ash and slag waste is a very promising area for innovation and investment, which has a multi-purpose focus and a beneficial impact on the ecological and economic development of industrial centers.

An analysis of the production activities of Politech Construction LLP clearly demonstrates that the introduction of ash-containing waste not only ensures a reduction in production costs and an increase in annual productivity, but also generates a significant socio-environmental effect.

Additionally, a high level of quality and a variety of types of building blocks allow the company to occupy a stable position in the market and contribute to achieving the strategic goals of the construction industry in Kazakhstan.

REFERENCES

1. Avvakumov E.G., Gusev A.A. Mechanical methods of activation in processing of natural and technogenic raw materials. Novosibirsk: Izd-vo "Geo", 2009:155. (in Russ.).
2. Potapov S.O., Svirilova M.N., Tanutrov I.N., Toloknov M.N. Physicochemical Properties of Fly Ash from the Combustion of Ekibastuz Coal. *Butlerov Communications*. 2016; 3 (45): 36–39. (in Russ.).
3. Bek A.A., Yestemesov Z.A., Baidzhanov D.O., Fedotenko N.A. Effective strengthening solutions for fractured rock masses using tailings. *Eurasian Mining*. 2022; 1: 59–64. <https://doi.org/10.17580/em.2022.12>.
4. Bembeev D.B., Samsonov A.A., Bobrov A.V., Voronov A.S., Kudina M.V. Recycling and processing of ash and slag waste in the context of implementing sustainable development goals: the experience of Russia and China. *Bulletin of Moscow University. Series 4. Geology*. 2025; (5): 117–127. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-5-117-127>. (in Russ.).
5. Nurpeisova M.B., Zhumagulov T.Zh., Fedotenko N.A., Kurmanbaev O.S. Assessment of ash and slag waste as a source of environmental pollution and a source of secondary raw materials. *Sustainable development of mountain areas*. 2024; 16 (1): 122–133. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2024-16-1-122-133>. (in Russ.).
6. Madanbekov N.Zh., Osmonova B.Zh. Application of mineral powder from fly ash from thermal power plants in Bishkek in asphalt concrete mixtures. *Bulletin of KSUSTA*. 2016; 1 (51): 99–103. (in Russ.).
7. Malchik A.G., Litovkin S.V., Rodionov P.V., Kozik V.V., Gaydamak M.A. Analyzing the technology of using ash and slag waste from thermal power plants in the production of building ceramics. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2016; 127: 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/127/1/012024>.
8. Osmonova B. Zh. Increasing the efficiency of using road asphalt concrete by using fly ash as a mineral powder. *Innovative Science*. 2015; 12: 121–124.
9. Yuryev I.Yu., Skripnikova N.K., Volokitin O.G. Study of the influence of modified ash and slag waste on the properties of fired ceramic products. *Vestnik TGASU*. 2013; 4: 191–196. (in Russ.).
10. Zotkin A.G. Concrete with effective additives. Moscow-Vologda: Infra-Engineering, 2014: 160. (in Russ.).
11. Estemesov Z.A., Bekbassarov Sh.Sh. *Waste and Its Utilization in the Production of Building Materials*. Almaty: CeLSIM Publishing House, 2010: 190. (in Russ.).
12. Hu Sh., Wang F.Zh. Lightweight concrete: Per. with whale. Moscow: DIA, 2016: 304.
13. Vladimirov D.V., Bulysa L.L., Nikiforova V.G., Akhmetova A.A., Menendez Pidal M. Cellular concrete based on ash of the Ekibastuz GRES-2. *Science and Technology of Kazakhstan*. 2022; 1: 131–141.
14. National Project "Green Kazakhstan". Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 731, October 12, 2021.
15. Zhumadilova Z.O., Selyaev V.P., Nurlybayev R.E., Sangulova I.B., Kuldeyev Ye.I. Prediction of Durability of Thermal Insulating Epoxy Coatings with Regard to Climatic Ageing. *Polymers*. 2022; 14 (9): 165–172. <https://doi.org/10.3390/polym14091650>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мейрам Мухаметрахимович Бегентаев –

член правления, ректор доктор экономических наук, профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0001-9688-4370>, e-mail: begentayev_meiram@mail.ru

Ержан Итмененович Кульдеев -

проректор по науке и корпоративному развитию, член правления, кандидат технических наук, профессор, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0001-8216-679X>, e-mail: kuldeev_erzhan@mail.ru

Маржан Байсановна Нурпеисова -

профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», доктор техн. наук, профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>, e-mail: marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Шакир Шарипович Бекбасаров -

доктор техн. наук, ассоциированный профессор, Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0002-8892-2506>; e-mail: sh.bekbasarov@aes.kz

Айман Аскарловна Бек -

PhD, ассистент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Satbayev University), г. Алматы, Республика Казахстан; <https://orcid.org/0000-0003-1671-297X>; e-mail: aiman.bek.001@gmail.com

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.07.2026

Поступила после рецензирования: 16.08.2026

Принята к публикации: 18.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Meiram M. Begentayev -

Member of the Board, Rector, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0001-9688-4370>, e-mail: begentayev_meiram@mail.ru

Yerzhan I. Kuldeev -

Vice-Rector for Science and Corporate Development, Member of the Management Board, Cand. Sci. (Eng.), Professor, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0001-8216-679X>, e-mail: kuldeev_erzhan@mail.ru

Marzhan B. Nurpeisova -

Professor of the Department of Surveying and Geodesy, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-3956-5442>, e-mail: marzhan-nurpeisova@rambler.ru

Shakir Sh. Bekbasarov -

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-8892-2506>; e-mail: sh.bekbasarov@aes.kz

Aiman A. Bek -

PhD, assistant of the Department of Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University K. I. Satpayev (Satbayev University), Almaty, Republic of Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-1671-297X>; e-mail: aiman.bek.001@gmail.com

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 27.07.2026

Revised: 16.08.2026

Accepted: 18.08.2026

Преимущества составов и технологии консолидируемых закладочных смесей из отходов сильвинита

В. И. Татарников✉

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н. В. Мельникова»
Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

✉ valentinpvlparker@gmail.com

Резюме. Предметом исследования являются составы и технология приготовления консолидируемых закладочных смесей из отходов обогащения сильвинита для условий глубокозалегающего месторождения калийных солей. Цель работы – обосновать формирование закладочного массива при минимизации расхода оборотного рассола и цемента. Применены рентгенодифракционный и гранулометрический анализы, полный перекрестный план лабораторных опытов, испытания плотности, подвижности, растекаемости закладочной смеси, прочности и деформируемости закладочных массивов. Установлена граница влагоотдачи бесцементной смеси на основе солеотходов при 1 780 кг/м³ и рассола 280 кг/м³, который после формирования закладочного массива достигает предела прочности 3,6 МПа на 90-е сутки хранения. Для прикровельного дозаполнения камер подобран состав из солеотходов 1 270 кг/м³, цемента 200 кг/м³ и рассола 450 кг/м³ с подвижностью 8 см, растекаемостью 13 см и прочностью сформированного закладочного массива 4,3 МПа на 90-е сутки. Пневмомеханизированная укладка смеси обеспечила плотность массива 1 590 кг/м³, усадку 3 % и отсутствие отжимных рассолов, подтвердив воспроизводимость лабораторных закономерностей при масштабировании эксперимента. Научная новизна состоит в обосновании составов и технологии приготовления закладочных смесей на основе консолидации солеотходов. Потенциал дополнительного извлечения запасов составляет 20%.

Ключевые слова: закладочная смесь, технология приготовления, отходы обогащения сильвинита, солеотходы, оборотный рассол, граница влагоотдачи, закладочный массив, пневмомеханизированная укладка, полнота извлечения запасов

Для цитирования: Татарников В.И. Преимущества составов и технологии консолидируемых закладочных смесей из отходов сильвинита. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 71-82. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-71-82>.

Advantages of consolidating backfill mixture compositions and technology using sylvinite waste

V. I. Tatarnikov✉

Academician N. V. Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ valentinpvlparker@gmail.com

Abstract. The study addresses the compositions and preparation technology of consolidating backfill mixtures produced from sylvinite beneficiation waste for the Gremyachinskoye potash deposit. Its objective was to justify differentiated formation of the main backfill mass and the roof-contact zone while limiting recycled-brine and cement consumption. The methods comprised X-ray diffraction and particle-size analyses, a full-crossed laboratory experiment, measurements of density, mobility, spread, compressive strength, and deformation characteristics, and pilot-scale testing of mechanized and pneumomechanical placement. The free-brine release threshold of the cement-free mixture was established at a recycled-brine dosage of 280 kg/m³. The recommended mixture for the main backfill volume contains 1780 kg/m³ of salt waste and 280 kg/m³ of recycled brine and reaches a compressive strength of 3.6 MPa after 90 days. The mixture selected for roof-contact filling contains 1270 kg/m³ of salt waste, 200 kg/m³ of cement, and 450 kg/m³ of recycled brine; its mobility is 8 cm, its spread is 13 cm, and its 90-day compressive strength is 4.3 MPa. The novelty of the study

lies in separating mixture preparation according to the structural function of each backfill zone. A two-line process scheme is proposed: a cement-free mixture forms the main volume, whereas a locally used flowable cement-containing mixture fills the voids beneath the chamber roof. This approach prevents free-brine release, restricts cement use, increases the filling ratio above 0.9, and creates the calculated potential to increase sylvinit reserve recovery by 20% through partial extraction of inter-chamber pillars.

Keywords: consolidating backfill; sylvinit beneficiation waste; salt waste; recycled brine; free-brine release threshold; backfill mass; roof-contact filling; pneumomechanical placement; reserve recovery

For citation: Tatarnikov V.I. Advantages of consolidating backfill mixture compositions and technology using sylvinit waste. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 71-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-71-82>.

Введение

Расширение производства калийных удобрений сопровождается увеличением объемов добычи и переработки сylvинита. При обогащении калийных солей выход отходов достигает 60–70 % от массы перерабатываемого минерального сырья. Основная часть техногенного сырья при освоении месторождений калийных солей представлена твердыми отходами: хвостами обогащения, шламами и оборотными рассолами, для складирования которых создаются солеотвалы, шламо- и рассолохранилища. Длительное хранение этих отходов приводит к отчуждению земель, засолению почв, поверхностных и подземных вод и росту экологической нагрузки на территории горно-обогатительных предприятий [1, 2]. Кроме того, значительная часть балансовых запасов калийных солей, разрабатываемых камерными системами, остается в междуканальных и барьерных целиках до 80 % и более. Поэтому вовлечение отходов обогащения в состав закладочных смесей представляет интерес как способ их утилизации и средство повышения полноты освоения запасов месторождений.

При подземной разработке глубокозалегающих пластов калийных солей назначение закладки не должно ограничиваться заполнением выработанного пространства и размещением отходов производства. Формируемый массив должен воспринимать системы: ограничивать конвергенцию очистных выработок, деформацию кровли и почвы, снижать нагрузку от налегающих пород и препятствовать их формированию и развитию водопроводящих трещин в водозащитной толще. Для выполнения такой функции закладочный массив должен обладать нормативными прочностными и деформационными характеристиками, минимальной усадкой и устойчивым контактом с кровлей камеры [3, 4]. Следовательно, эффективность закладочных работ определяется не только количеством размещенных отходов, но и составом смеси, технологией ее приготовления и полнотой заполнения выработанного пространства.

Высокие требования к составу и технологии приготовления закладочных смесей предъявляются в условиях разработки Гремячинского месторождения калийных солей, где продуктивный пласт залегает на глубине более 900 м и характеризуется изменчивой мощностью, неоднородностью строения, изменением углов падения и развитием флексурных нарушений. К осложняющим факторам относится наличие в подстилающих карналлитсодержащих пород, галитов, высоконапорных водоносных горизонтов, что определяет необходимость сохранения водозащитной толщи [5, 6]. Проектными решениями предусмотрена камерная одностадийная система разработки с гидравлической закладкой выработанного пространства солеотходами и сохранением междуканальных и барьерных целиков.

Физико-механические свойства вмещающих пород яв-

ляются исходными параметрами при обосновании состава закладочной смеси. Плотность пород налегающей толщи определяет величину горного давления на элементы камерной системы разработки, а прочностные характеристики – устойчивость обнажений и требуемую несущую способность закладочного массива. Пористость, трещиноватость и проницаемость пород влияют на возможность миграции и перераспределения влаги в закладочной смеси. В условиях растворимых сylvинит- и карналлитсодержащих пород выделение избыточного рассола из состава закладочной смеси может привести к снижению прочности сylvинита и растворению нижележащего пласта карналлита. Деформационные характеристики, включая склонность соляных пород к ползучести, определяют интенсивность конвергенции камер и требования к модулю деформации, усадке и полноте контакта закладки с кровлей. Существенное значение имеет также гранулометрический состав солеотходов, определяющий плотность укладки частиц, влагоудерживающую способность и фильтрационные свойства смеси, а также влияющий на ее реологическое поведение и равномерность твердения. Поэтому соотношение солеотходов, оборотного рассола и вяжущего должно обеспечивать не только нормативную прочность, но также отсутствие влаговыделения, сбалансированное распределение фракций и согласованность деформаций формируемого закладочного массива с вмещающими породами [5, 6, 12].

В мировой практике освоения калийных и соляных месторождений предусматривалось применение сухой, гидравлической и твердеющей закладок [7–9]. На рудниках Германии отходы обогащения смешивали с насыщенными рассолами и транспортировали в выработанное пространство по трубопроводам с откачкой отжимных рассолов для последующей выемки целиков [8, 10]. В зависимости от морфологии залежи недозаклад камер при таких схемах достигает 2–15 % и более. Опыт соляной шахты «Величка» (Польша) также показывает, что гидравлическая технология закладки связана с транспортированием значительного количества рассола и воздействием дополнительной влаги на вмещающие породы [11]. Таким образом, технология гидрозакладки решает задачу утилизации отходов, но не обеспечивает формирование массива как конструктивного элемента системы разработки.

Применения гидравлической закладки в условиях Гремячинского месторождения дополнительно ограничивается необходимостью подачи в рудник значительного количества оборотного рассола и последующего отвода его избытка. Выделение свободной жидкой фазы приводит к длительному контакту рассола с сylvинитом и подстилающими карналлитсодержащими породами. Такое воздействие снижает прочностные и деформационные характеристики сylvинита, а ненасыщенный по карналлиту оборотный рассол

растворяет карналлитсодержащие породы [12]. Кроме того, отсутствие нормируемых прочностных и деформационных характеристик формируемого гидрозакладочного массива не позволяет рассматривать его как несущий элемент, обеспечивающий извлечение смежных междукамерных целиков.

Альтернативой является формирование консолидированного закладочного массива из отходов обогащения сильвинита при оптимальном расходе оборотного рассола. Омоноличивание происходит преимущественно вследствие уплотнения солеотходов, кристаллизации солей и образования устойчивых межзерновых связей. Это позволяет отказаться от дорогостоящего цемента при заполнении основной части объема закладываемых камер. Однако сокращение расхода рассола для предотвращения влагоотдачи и повышения прочности массива снижает подвижность смеси и затрудняет заполнение прикровельной части камеры. Добавление цемента повышает прочность закладочного массива, но увеличивает стоимость закладочных работ и расход дорогостоящего вяжущего [4, 13, 14].

Единым составом технически трудно обеспечить отсутствие влагоотдачи, высокую плотность смеси и нормативную прочность закладочного массива. Это обусловило выбор дифференцированного подхода к составу и технологии приготовления смесей: бесцементной консолидируемой смеси из солеотходов при ограниченном расходе оборотного рассола, цементсодержащие смеси для локального дозаполнения верхней части камер. Реализация такого подхода требует раздельного дозирования и смешения компонентов смеси на передвижном закладочном комплексе.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что недостаточно изучена взаимосвязь между границей влагоотдачи смеси на основе солеотходов, расходом оборотного рассола, режимом уплотнения, достижением нормативной прочности и технологическими параметрами. Для действующего глубокозалегающего калийного рудника также отсутствует технология приготовления закладочных смесей с требуемыми физико-механическими характеристиками, позволяющая использовать преимущественно местные отходы, минимизировать расход цемента и одновременно обеспечить высокую плотность заполнения камер.

Цель выполненных исследований заключается в обосновании преимуществ разработанных составов и технологий приготовления консолидируемых закладочных смесей из отходов обогащения сильвинита, обеспечивающих отсутствие избытков рассоловыделения, требуемые прочностные характеристики закладочного массива и полноту заполнения прикровельной части камер.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: установлена граница влагоотдачи закладочной смеси на основе солеотходов и оборотного рассола; исследовано влияние расхода затворителя и способа уплотнения на плотность и прочность формируемого массива; обоснованы рациональные составы для формирования основного объема закладочного массива и дозаполнения прикровельной части камер; разработана схема их дифференцированного приготовления на двух технологических линиях; выполнена сравнительная оценка предложенных решений по показателям нормативной прочности смеси, рассоловыделения, усадки, расхода цемента и полноты заполнения выработанного пространства. Практическая реализация разработанного подхода создает предпосылки для формирования консолидированного закладочного массива как конструктивного элемента си-

стемы разработки и последующего вовлечения части запасов междукамерных целиков в отработку.

Материал и методы исследования

Объектом исследований являлись консолидируемые закладочные смеси, приготовленные из отходов обогащения калийных солей Гремячинского горно-обогатительного комбината. Для лабораторных исследований с конвейера на выходе из обогатительной фабрики была отобрана представительная проба солеотходов массой 400 кг. Отбор проб выполняли отдельными порциями в течение суток. Объем пробы оборотного рассола составил 20 л. Для приготовления цементсодержащих составов применяли цемент марки М500. Вода использовалась как затворитель для сопоставимого сравнения при установлении границы влагоотдачи и оценке влияния вида жидкой фазы на свойства смеси.

Средняя исходная влажность солеотходов обогатительной фабрики составила 8 %. По данным химического анализа, содержание NaCl достигало 80 %, KCl – 9,1 %, MgCl₂ – 0,94 %, нерастворимого остатка и CaSO₄ – 8,95 %. Минеральный состав двух исследованных партий характеризовался преобладанием галита – 82–89 %, присутствием сильвина – 1–6 %, ангидрита – 6–9 % и полигалита – до 4 %.

Минеральный состав определяли методом рентгенодифракционного анализа на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 с Cu-анодом и графитовым монохроматором. Количественное содержание минеральных фаз рассчитывали в программном обеспечении Siroquant V4. Насыпную плотность солеотходов определяли по ГОСТ 32721-2014 методом взвешивания материала в металлическом сосуде объемом 1 дм³ [15]. Для определения гранулометрического состава применяли мокрый ситовой анализ на автоматической просеивающей машине EML 200. На верхнее сито непрерывно подавали оборотный рассол, предотвращавший агрегирование частиц. После дренирования материал на ситах высушивали и взвешивали. Более 91 % солеотходов было представлено классами крупности свыше 0,1 мм.

Солеотходы высушивали до постоянной массы, а требуемую влажность смеси создавали дозированным введением затворителя. При пересчете составов с учетом производственных условий должна учитываться фактическая влажность поступающих солеотходов.

Схема исследований и критерии выбора составов закладочных смесей

Исследования проводили последовательно: устанавливали границу влагоотдачи смеси солеотходов и затворителя; оценивали влияние расхода рассола и способа уплотнения на плотность и прочность массива; исследовали цементсодержащие смеси с различными технологическими свойствами; выполняли опытно-промышленную проверку механизированного и пневмомеханизированного способов формирования закладочного массива; разрабатывали технологическую схему раздельного приготовления смесей для основного объема камеры и прикровельного слоя.

Расход компонентов на 1 м³ приготовленной смеси определяли с соблюдением условия баланса абсолютных объемов:

$$\sum_{i=1}^n = q_i / \rho_i = 1, \quad (1)$$

где q_i – массовый расход компонента, кг/м³; ρ_i – его истинная плотность, кг/м³.

Количество лабораторных опытов планировали методом полного факторного или перекрестного эксперимента в соответствии с Р 50.1.040–2002 [16]. Для каждой серии определяли факторы, диапазоны их варьирования и число уровней. В план включали все сочетания принятых уровней, а остальные условия поддерживали постоянными.

При равномерном шаге варьирования число уровней количественного фактора рассчитывали:

$$m_i = (x_{i,max} - x_{i,min}) / \Delta x_i + 1, \quad (2)$$

где m_i – количество уровней варьирования i -го количественного фактора, $x_{i,max}$ – максимальное значение фактора, $x_{i,min}$ – минимальное значение фактора, Δx_i – шаг изменения фактора; i – порядковый номер фактора, $+1$ – учитывает одновременно начальное и конечное значения диапазона.

Число различных экспериментальных условий, определяемых по выражению

$$N_0 = \prod_{i=1}^k m_i, \quad (3)$$

где N_0 – общее количество различных составов (сочетаний факторов), Π – знак произведения; m_i – число уровней i -го фактора; k – число одновременно варьируемых факторов.

С учетом количества параллельных образцов r общее количество экспериментальных единиц составляло

$$N = rN_0, \quad (4)$$

где N – общее количество изготовленных образцов, r – количество параллельных образцов для каждого состава, N_0 – количество исследуемых составов (экспериментальных условий).

Для серии по установлению границы влагоотдачи варьировали два фактора: вид затворителя (вода или оборотный рассол ($m_1 = 2$)) и его расход от 10 до 350 кг/м³ с шагом 10 кг/м³ ($m_2 = 35$). План эксперимента включал $N_0 = 2 \times 35 = 70$ различных составов. Для каждого состава формировали три параллельных образца, поэтому общее количество экспериментальных единиц составило $N = 70 \times 3 = 210$. Принятый диапазон охватывал состояния закладочной смеси от полного удержания затворителя до устойчивого появления свободной жидкой фазы, а шаг расхода затворителя 10 кг/м³ позволял локализовать границу влагоотдачи между соседними составами смеси с интервалом не более 10 кг/м³. Количество опы-

тов в остальных сериях определяли аналогично на каждом этапе исследований.

Схема и характеристики экспериментов приведены в таблице 1.

В качестве критериев выбора составов смеси принимали отсутствие свободного рассола, достижение нормативной прочности в заданные сроки, минимальную усадку, пригодность смеси к принятому способу транспортирования и возможность заполнения прикровельных пустот при ограничении расхода цемента.

Нормативную прочность определяли по условию устойчивости вертикальных обнажений закладочного массива при отработке смежных запасов. В расчетах учитывали высоту и ширину камеры, коэффициент формы закладочного массива, длительную прочность, угол падения залежи, удельный вес пород и закладки, а также коэффициент запаса прочности, равный 1,5.

Коэффициент формы определяли по зависимости

$$\sigma_{сж2} = \frac{n}{1000k_\phi k_d} * \left(\frac{k_a \gamma_1 H_{1L}}{d} \right) + \gamma_2 h_2, \text{ МПа}, \quad (5)$$

где n – коэффициент запаса прочности, принимаемый равным 1,5; k_ϕ – коэффициент формы; k_d – коэффициент длительной прочности закладочного массива, принимаемый равным 0,5–0,7 при работе техногенных опор в условиях незаложенных камер, включая двухстадийную выемку, и 1 – при кратковременном нагружении; k_a – коэффициент, учитывающий угол падения залежи α ; γ_1 – удельный вес пород подрабатываемой толщи, кН/м³; H_1 – высота толщи пород, нагружающей закладочный массив, м; S – площадь кровли, приходящаяся на закладочный массив, м²; γ_2 – удельный вес закладочного массива, кН/м³; h_2 – высота обнаженной части закладочного массива, м.

$$k_\phi = 0,6 + 0,4a / h, \quad (6)$$

где a и h – соответственно ширина и высота закладочного массива, м.

Расчеты выполняли для камер высотой 3,7; 6 и 13 м. Диапазон изменения нормативной прочности 3,18–3,83 МПа использовали как критерий при сопоставлении экспериментальных составов.

Для итогового сравнительного анализа были выделены варианты смеси:

1. Консолидированная смесь на основе солеотходов с

Таблица 1 / Table 1

Схема экспериментальных исследований закладочных смесей / Experimental design for backfill mixture studies

Серия исследований	Варьируемый фактор	Определяемый показатель
Определение границы влагоотдачи	Расход рассола или воды от 10 до 350 кг/м ³ с шагом 10 кг/м ³	Наличие свободной жидкой фазы, влажность, прочность на 30-е сутки
Бесцементные смеси	Расход рассола – 150, 200, 250 и 280 кг/м ³ ; отсутствие дополнительного уплотнения, штыкование, виброуплотнение и комбинированное уплотнение	Плотность, потеря влаги, прочность и деформационные характеристики, динамика консолидации
Цементсодержащие смеси	Расход цемента – 80–500 кг/м ³ ; расход рассола – 150–500 кг/м ³	Плотность, подвижность, растекаемость, прочность и модуль деформации
Опытно-промышленная проверка	Механизированная послойная укладка и непрерывная пневмомеханизированная подача	Плотность массива, усадка, изменение влажности и объем выделившегося рассола
Разработка технологии приготовления	Назначение смеси, последовательность дозирования, смешения и подачи компонентов	Структура технологических линий, производительность и требования к оборудованию

рассолом солеотходов 1 780 кг/м³ и оборотного рассола 280 кг/м³.

2. Смесь для прикровельного дозаполнения слоя с добавлением цемента с расходом солеотходов 1 270 кг/м³, цемента 200 кг/м³ и оборотного рассола 450 кг/м³.

Определение границы влагоотдачи

Для установления максимального содержания жидкой фазы, при котором закладочная смесь не выделяет свободный рассол, солеотходы предварительно высушивали. В сухой материал последовательно вводили воду или оборотный рассол в количестве от 10 до 350 кг/м³ с шагом 10 кг/м³.

Приготовленными закладочными смесями заполняли полые цилиндрические формы с дренажными отверстиями. Формы устанавливали на поддоны с предварительно определенной массой, что позволяло фиксировать появление свободной жидкой фазы. Закладочную смесь во всех формах уплотняли штыкованием. Всего было испытано 70 составов: по 35 составов с водой и рассолом. Каждый состав испытывали в трех параллельных формах; общее количество образцов составило 210.

Выделение жидкости контролировали в течение 7 суток. За границу влагоотдачи принимали наибольший расход затворителя, при котором свободная жидкая фаза не выделялась. После растаривания образцы продолжали выдерживать в климатической камере, а на 30-е сутки на прессе определяли предел прочности закладочного массива при одноосном сжатии. Результаты трех параллельных испытаний усредняли.

Приготовление и испытание образцов

Лабораторные образцы закладочного массива готовили вручную путем тщательного перемешивания сухих компонентов и постепенного введения затворителя. Для эксперимента применяли стандартные кубические формы ЗФК-70 с размером ребра 70 мм. До заполнения формы взвешивали.

После укладки и уплотнения смеси повторно определяли массу формы, что позволяло рассчитывать плотность по отношению массы материала к занимаемому объему:

$$\rho = m / V, \text{ кг/м}^3, \quad (7)$$

где ρ – плотность образца или смеси, кг/м³, m – масса образца или смеси, кг, V – занимаемый объем, м³.

Влияние режима уплотнения смеси исследовали при четырех способах формирования образцов: без дополнительного уплотнения, с уплотнением штыкованием, вибрационным воздействием и сочетанием виброуплотнения со штыкованием. Образцы растаривали на 5-е сутки и устанавливали на ровную поверхность в климатической камере. Температуру поддерживали на уровне 35 °С, относительную влажность воздуха – 30 %, что соответствует температурно-влажностным условиям Гремячинского рудника.

Массу образцов контролировали через каждые 5 суток. Изменение массы и показания влагомера использовали для оценки потери влаги и динамики консолидации. Бесцементные составы испытывали преимущественно на 40, 50, 60, 90-е и 200-е сутки. Для цементсодержащих смесей применяли как ранние контрольные сроки (7, 14 и 28 суток), так и длительное хранение (38, 60, 90, 110, 140 и 200 суток).

Предел прочности при одноосном сжатии определяли на

прессе Instron по отношению максимальной разрушающей нагрузки к площади нагружаемой грани образца:

$$\sigma_{\text{сж}} = F_{\text{max}} / A, \text{ МПа}, \quad (8)$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности при сжатии, МПа, F_{max} – максимальная разрушающая нагрузка, A – первоначальная площадь поперечного сечения образца, мм².

По диаграммам «напряжение, продольная деформация» определяли модуль деформации. Плотность, остаточную влажность и характер разрушения фиксировали непосредственно перед механическим испытанием.

Подвижность цементсодержащих смесей определяли с применением стандартного конуса СтройЦНИИЛ массой 300 г, высотой 145 мм и диаметром основания 75 мм. После погружения конуса в смесь в течение 10 суток измеряли глубину погружения с точностью до 2 мм. За окончательный результат принимали среднее значение трех измерений. Дополнительно фиксировали растекаемость смеси на горизонтальной поверхности. Эти показатели использовали для оценки возможности подачи смеси поршневым насосом и степени заполнения прикровельных пустот.

Опытно-промышленная проверка технологической пригодности смеси

Опытно-промышленные исследования (ОПИ) проводили на поверхности и в подземных условиях Гремячинского ГОКа. Поверхностные исследования проводились в двух гидроизолированных траншеях (рис. 1). Длину каждой траншеи принимали в два раза больше ее ширины для приближения условий деформирования массива к схеме плоской деформации. В основании устраивали гидроизоляцию и зумпф с трубой, обернутой фильтрующей тканью, для сбора и измерения объема выделившегося отжимного рассола.

В первой траншее (рис. 1а) исследовали механизированный циклический способ. Смесь укладывали послойно с контролем на отметках 0,6; 1,2 и 2,0 м, после чего выравнивали и уплотняли смесь гусеничным бульдозером. При достижении общей высоты массива 3,25 м дополнительно применяли виброролы.

Во второй траншее (рис. 1б) смесь непрерывно подавали пневматической установкой с приемным бункером и транспортным рукавом. Уплотнение смеси происходило за счет кинетической энергии воздушного потока. В ходе эксперимента изменяли угол наклона сопла; сопоставляли режимы, обозначенные по шкале установки, 270–280° и более 280°.

После заполнения траншеи на поверхности массивов устанавливали реперы.

Изменение фактической высоты сформированного массива контролировали в течение 60 суток, а относительную усадку рассчитывали по выражению

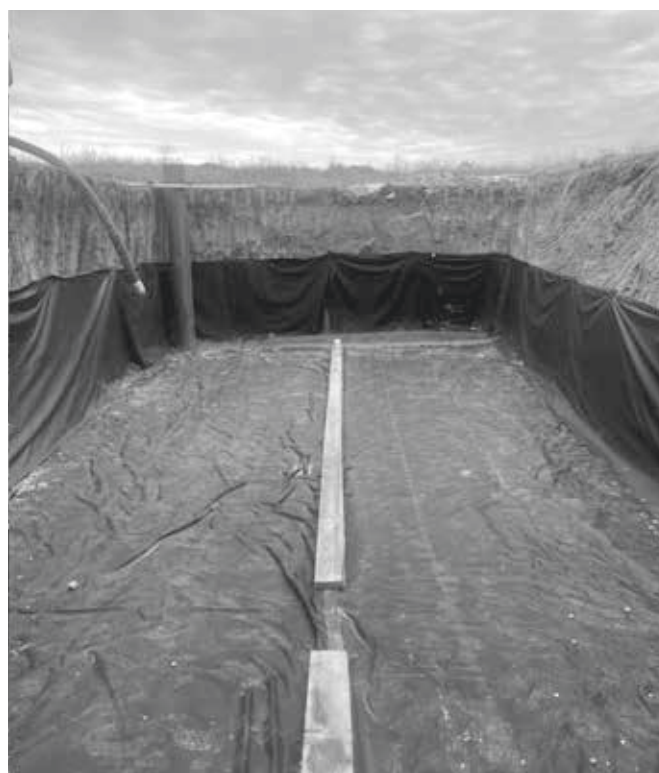
$$S_t = (h_0 - h_t) / h_0 \times 100 \%, \quad (9)$$

где S_t – относительная осадка смеси к моменту времени t , %, h_0 – первоначальная высота столба смеси, мм, h_t – высота столба смеси через время t , мм, t – время после приготовления или укладки смеси.

Одновременно измеряли плотность, влажность смеси и объем рассола, поступившего в накопительную емкость. Полученные показатели использовали для проверки воспро-



а (a)



б (b)

Рис. 1. Две опытно-промышленные гидроизоляционные траншеи вблизи солеотвала: для а – механизированного циклического способа заполнения закладочной смеси; б – пневмомеханизированного способа заполнения закладочной смеси /

Fig. 1. Two pilot-scale waterproofing trenches near the salt waste dump: a – mechanized cyclic method of backfill mixture placement; b – pneumomechanical method of backfill mixture placement

изводимости границы влагоотдачи в лабораторных и опытно-промышленных условиях [17].

В подземных условиях проверялись результаты ОПИ в рудничных условиях Гремячинского ГОКа.

Разработка технологии приготовления и обработка результатов

Технологическую схему эксперимента разрабатывали методом функционального разделения закладочного процесса на четыре последовательно выполняемых блока: транспортирование компонентов к подземному узлу; дозирование; смешивание смеси; подачу готовой смеси в камеру. Оценивали различие свойств смесей для основного массива и прикровельного слоя.

Производительность первой линии определяли исходя из необходимости размещения основного объема солеотходов при годовой производительности рудника 7,3 млн т сильвинита при графике работы в 3 смены в течение 340 суток и календарном фонде рабочего времени 8 160 ч в год. Производительность линии прикровельного дозаполнения принимали равной 23 м³/ч с учетом производительности насоса, емкости смесительного оборудования и продолжительности транспортирования закладочной смеси.

Преимущества разработанных составов закладочных смесей и технологии их приготовления оценивали по расходу оборотного рассола и цемента, наличию свободной жидкой фазы, плотности, усадке массива, пределу прочности, модулю деформации, подвижности и растекаемости закладочной смеси. При обработке экспериментальных данных рассчитывали средние значения, диапазон изменения результатов и относительное изменение показателей.

Для показателей X относительное изменение определяли по формуле

$$\Delta X = (X_2 - X_1) / X_1 \times 100 \%, \quad (10)$$

где X – экспериментальный параметр

Расчетный ресурсный эффект оценивали сопоставлением объема одного междукammerного целика с объемом пяти ранее отработанных камер. При одинаковой длине блока L объем камер принимали равным $5 \times 6 \times 11,8 L$, объем целика – $6 \times 11,8 L$. Полученный показатель рассматривали как потенциальное увеличение извлекаемого объема запасов, а не как результат уже выполненной промышленной выемки целика.

Результаты

Результаты экспериментов подтвердили возможность реализации технологического разделения цикла приготовления закладочной смеси с формированием консолидируемого закладочного массива из солеотходов и рассола и с добавлением цемента для локального дозаполнения прикровельной части камер более подвижной смесью. Полученные результаты подтверждали воспроизводимость установленных закономерностей при увеличении масштаба закладочного массива и параметрах технологии приготовления двух типов смесей.

Граница влагоотдачи и выбор составов закладочных массивов

В экспериментальной серии из 70 составов установлена верхняя граница влагоотдачи смеси, при которой смесь сохраняет весь добавленный затворитель. При использовании оборотного рассола она соответствует расходу 280 кг/м³ смеси

К 90-м суткам модуль деформации образцов закладочного принятого состава превышал 300 МПа. Полученная на 60-е сутки прочность 3,2 МПа соответствует нижней границе расчетного нормативного диапазона 3,18–3,83 МПа, установленного для камер высоты 3–13. На 90–200-е сутки прочность массива 3,4–3,6 МПа находится внутри указанного диапазона. Поэтому допустимый срок обнажения и высота открываемой поверхности должны назначаться с учетом состава смеси и периода набора прочности.

Результаты опытно-промышленных исследований

При опытно-промышленных испытаниях технологии на поверхности установлено, что определяющим технологическим параметром при пневмомеханизированной укладке является угол наклона сопла, от которого зависит плотность формируемого массива. При наклоне сопла 270–280° плотность достигала 1 590 кг/м³, а усадка смеси после завершения заполнения камеры составила 3 % (рис. 5). При увеличении угла наклона сопла более чем на 280° плотность снизилась до 1 420 кг/м³, вследствие чего усадка возросла до 6 % и превысила принятое допустимое значение 5 %. При механизированной послойной укладке смеси плотность составила 1 380 кг/м³ и усадка после заполнения – 4 %. Во всех вариантах основной рост усадки завершался в течение 14–19-х суток, после чего уровень поверхности массива не изменился.

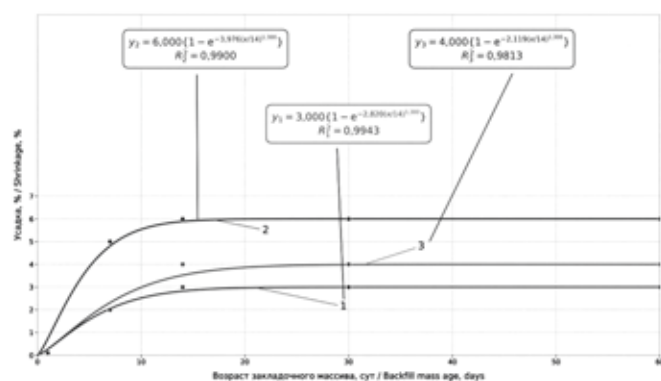


Рис. 5. Усадка закладочного массива в зависимости от способа формирования и плотности:

- 1 – пневмомеханизированная укладка, 1 590 кг/м³; 2 – пневмомеханизированная укладка, 1 420 кг/м³; 3 – механизированная укладка, 1 380 кг/м³ /
Fig. 5. Backfill shrinkage versus placement method and density: 1 – pneumomechanical, 1 590 kg/m³; 2 – pneumomechanical, 1420 kg/m³; 3 – mechanized, 1 380 kg/m³

Различия между способами формирования закладочного массива проявились также в характере рассоловыделения. При механизированном способе укладки смеси откачка рассола продолжалась до 60-х суток (табл. 2); сумма приведенных в таблице 2 интервальных объемов составила около 2,15 м³. При пневмомеханизированном формировании массива во все сроки измерений откачанный объем рассолов был равен нулю. За весь эксперимент в притраншейном зумпфе в накопительной емкости было отмечено лишь около 0,008 м³ жидкости, объем которой не позволял выполнить откачку. Практически полное отсутствие свободного рассола связано одновременно с уплотнением закладочной смеси и снижением ее влажности воздушным потоком.

Таблица 2 / Table 2

Динамика выделения рассола при циклическом и непрерывном формировании закладочного массива / Volume of released brine during cyclic and continuous backfill formation

Время формирования массива, сутки	Объем откачки при циклическом формировании, л	Объем откачки при непрерывном способе, л
0	0	0
1	0	0
2	15	0
3	50	0
4	85	0
5	95	0
6	118	0
7	140	0
14	210	0
21	260	0
28	310	0
35	412	0
42	260	0
49	140	0
56	40	0
60	17	0

Опытно-промышленные испытания в подземных условиях

Для проверки результатов лабораторных исследований и поверхностных опытно-промышленных испытаний на Гремячинском руднике на расстоянии 560 м от ствола были пройдены 4 опытно-промышленные ниши шириной 2,0–2,5 м, высотой и глубиной по 2,5 м. Солеотходы доставляли в подземные выработки в еврокубах, после чего транспортировали к месту проведения испытаний самоходным оборудованием. Заполнение ниш выполняли с применением погрузочно-доставочной машины и вручную. Влажность укладываемой смеси составляла 8 %. Для изучения влагоотдачи две ниши были полностью гидроизолированы по почве и бортам с устройством зумпфов для сбора отжимного рассола. Усадку формируемых массивов в течение 3 месяцев контролировали системой дистанционного мониторинга «Дисконтр» и прямыми маркшейдерскими измерениями, а температурный режим – термопарами, установленными внутри массива. В период заполнения ниш закладочной смесью температура атмосферы на участке составляла 26 °С при влажности 55 %. В состав смеси, размещенной в нише № 4, дополнительно вводили 100 кг/м³ негашеной извести для оценки ее влияния на тепловой режим и консолидацию массива. После демонтажа перемычек состояние закладки оценивали визуально, посредством отбора керн и видеоэндоскопического обследования скважин.

Испытания образцов, отобранных вырезок из массива, сформированного в подземных опытно-промышленных нишах, показали достижение прочности 2,8 МПа уже через 20 суток. Этот результат подтверждает развитие консолидации в подземных условиях, однако еще не позволил достичь нижней границы нормативного диапазона 3,18 МПа. Это обеспечивается малой продолжительностью ОПИ в 60 суток и несоблюдением в подземных условиях технологии формирования закладочного массива. В поверхностной траншее

кернами плотностью около 1 350 кг/м³ имели более низкую прочность (0,36–0,60 МПа) вследствие недостаточного уплотнения и сохранявшейся влажности 2,1–2,6 %. После полного высушивания прочность образцов возросла до 1,4 МПа. Сопоставление лабораторных и опытно-промышленных испытаний подтвердило, что воспроизводимость прочностных характеристик определяется не только рецептурой, но и плотностью укладки, а также условиями удаления остаточной влаги из формируемого закладочного массива.

Обоснование состава для формирования прикровельного слоя

Для заполнения прикровельных пустот исследованы цементосодержащие закладочные смеси с расходом рассола 350–500 кг/м³ (табл. 3). При содержании цемента 200 кг/м³ увеличение расхода рассола с 350 до 450 кг/м³ повышало подвижность с 2,5 до 8 см и обеспечивало растекаемость 13 см. Дальнейшее увеличение расхода рассола до 500 кг/м³ повышало подвижность до 12 см, но растекаемость увеличивалась лишь до 14 см. При расходе цемента 500 кг/м³ технологические показатели были несколько выше, однако это требовало в 2,5 раза большего количества вяжущего.

Таблица 3 / Table 3

Технологические свойства закладочных смесей из солейотходов, цемента и рассола /
Technological properties of backfill mixtures made of salt waste, cement, and brine

Состав закладочной смеси	Показатель	350 кг/м ³ рассола	400 кг/м ³ рассола	450 кг/м ³ рассола	500 кг/м ³ рассола
I (цемент – 500 кг/м ³)	Солейотходы, кг/м ³	1 250	1 120	1 050	960
	Плотность, кг/м ³	2 100	2 020	2 000	1 960
	Подвижность, см	3,8	5	10	14
	Растекаемость, см	0	0	15	22
II (цемент – 200 кг/м ³)	Солейотходы, кг/м ³	1 430	1 360	1 270	1 180
	Плотность, кг/м ³	1 980	1 960	1 920	1 880
	Подвижность, см	2,5	3,5	8	12
	Растекаемость, см	0	0	13	14

Сопоставление реологических и прочностных характеристик массивов позволило выделить приоритетный состав закладочной смеси, включающий солейотходов 1 270 кг/м³, цемента 200 кг/м³ и рассола 450 кг/м³. Его подвижность составляет 8 см, растекаемость – 13 см, а плотность приготовленной смеси – 1 920 кг/м³. Через 38 суток прочность образцов достигала 1,5 МПа, через 60 суток – 2,5 МПа, через 90 суток – 4,3 МПа и далее стабилизировалась на уровне 4,3–4,4 МПа. Модуль деформации составил 537 МПа, модуль спада – 187 МПа.

Смесь с расходом рассола 350 кг/м³ достигла более высокой прочности (7,0 МПа) на 90-е сутки, но имела подвижность только 2,5 см и не растекалась (рис. 6). При расходе рассола 500 кг/м³ подвижность увеличивалась до 12 см, но прочность на 90-е сутки снизилась до 4,1 МПа. Вариант с расходом рассола 450 кг/м³ обеспечивает достаточную подвижность для подачи насосом и высокой степени заполнения прикровельной зоны при сохранении прочности выше расчетного нормативного диапазона на 90-е сутки твердения.

Таблица 4 / Table 4

Прочностные и деформационные характеристики цементосодержащих образцов закладочного массива в процессе твердения закладочных смесей /
Strength and deformation characteristics of cement-containing backfill mixtures during curing

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Солейотходы, кг/м ³	1 430	1 360	1 270	1 180
Рассол, кг/м ³	350	400	450	500
Цемент, кг/м ³	200	200	200	200
Предел прочности в возрасте 38 суток, МПа	2,4	1,8	1,5	1,1
Предел прочности в возрасте 60 суток, МПа	6,2	4,2	2,5	1,9
Предел прочности в возрасте 90 суток, МПа	7	5,3	4,3	4,1
Предел прочности в возрасте 110 суток, МПа	7,1	5,4	4,4	4,2
Предел прочности в возрасте 200 суток, МПа	7,2	5,2	4,3	4,25
Модуль деформации, МПа	900	693	537	466
Модуль спада, МПа	288	216	187	182

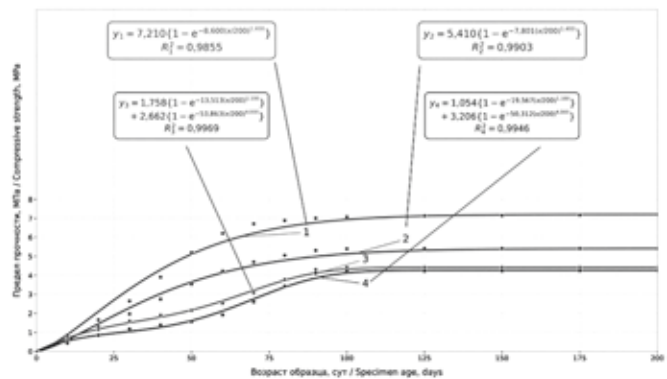


Рис. 6. Прочность цементосодержащей закладочной смеси при расходе рассола:

1 – 350; 2 – 400; 3 – 450; 4 – 500 кг/м³ /

Fig. 6. Strength of cement-containing backfill at brine dosages of:
1 – 350; 2 – 400; 3 – 450; 4 – 500 kg/m³

Локальное применение цемента только для заполнения прикровельного слоя позволяет заполнить весь объем камеры. Тем самым реологические свойства закладочной смеси с добавлением цемента обеспечивают сокращение расхода вяжущего на закладку, устраняют недозаклад в верхней части камеры.

Обоснование технологии приготовления смесей

Различие установленных требований к составам закладочных смесей обусловило разработку технологических линий, включающих четыре функциональных блока: транспортирование компонентов к подземному узлу, дозирование, смешение и подачу готовой закладочной смеси в закладываемую камеру (рис. 7). На первой стадии солейотходы смешиваются с рассчитанным количеством насыщенного рассола в пределах границы влагоотдачи. При необходимости предусмотрен ввод модификаторов или заполнителей. Готовая смесь направляется на формирование основного объема консолидируемого массива. Следующая стадия дополнительно оснащается силосом для цемента и пред-

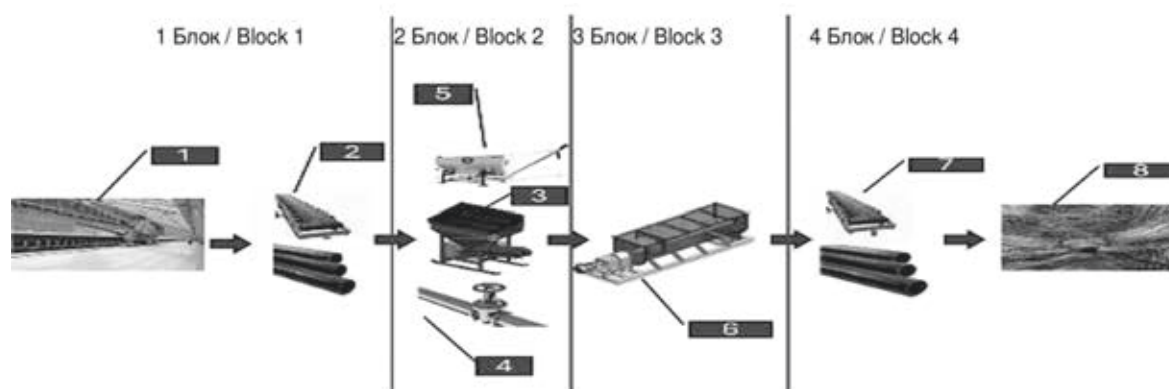


Рис. 7. Технологические линии приготовления и подачи закладочной смеси:
 1 – обогатительная фабрика; 2 – конвейер или трубопровод солеотходов; 3 – бункер-питатель; 4 – трубопровод рассола;
 5 – силос добавок или заполнителя; 6 – смеситель; 7 – закладочный конвейер; 8 – камера /
Fig. 7. Process lines for backfill preparation and delivery:
 1 – processing plant; 2 – salt-waste conveyor or pipeline; 3 – feeder bin; 4 – brine pipeline;
 5 – additive or filler silo; 6 – mixer; 7 – backfill conveyor; 8 – chamber

назначается для приготовления более подвижного состава закладочной смеси, подаваемого в прикровельную часть закладываемой камеры.

Для формирования прикровельного слоя принята производительность 23 м³/ч, согласованная с производительностью насосного оборудования, с вместимостью смесителя и допустимой продолжительностью транспортирования быстро схватывающейся смеси. В результате нижняя часть закладочного массива формируется на основе исключительно солеотходов с высокой плотностью смеси и минимальным рассоловыделением, а верхняя – из состава, способного заполнить труднодоступные прикровельные пустоты. Последовательное применение указанных составов позволит заполнить камеру и компенсировать усадку закладочного массива, в результате чего коэффициент заполнения камер будет составлять не менее 0,9.

Оценка влияния разработанной технологии на полноту извлечения запасов месторождения

Расчет потенциального ресурсного эффекта применения технологии закладки выполнен для выемочного блока, состоящего из пяти камер V_{5k} , разделенных междукамерными целиками. При одинаковой длине панели L , м, ширине камеры и целика 6,0 м и вынимаемой мощности 11,8 м объем первоначально извлекаемых запасов в пяти камерах определяется выражением

$$V_{5k} = 5 \times 6 \times 11,8 \times L = 354 L. \quad (11)$$

Объем запасов одного междукамерного целика $V_{МКЦ}$ при той же длине равен

$$V_{МКЦ} = 6 \times 11,8 \times L = 70,8 L. \quad (12)$$

После заполнения пяти камер и достижения закладочным массивом нормативных характеристик вовлечение в отработку одного междукамерного целика увеличивает извлекаемый объем относительно проектной отработки пяти камер на

$$\Delta V = \left(\frac{V_{МКЦ}}{V_{5k}} \right) \times 100 \% = \frac{70,8 L}{354 L} = 20 \%, \quad (13)$$

где ΔV – относительное увеличение извлекаемого объема запасов за счет отработки одного междукамерного целика, %.

Полученное значение роста вовлечения запасов характеризует потенциал разработанного решения. Повышение полноты извлечения запасов месторождения больше чем на 20 % не следует трактовать как уже достигнутый производственный показатель. Его реализация требует опытно-промышленной апробации в условиях отработки запасов конкретного блока, подтверждения фактической прочности закладочного массива и регламентирования последовательности выемки камер.

Обсуждение результатов

Анализ полученных результатов показывает, что формирование консолидированного закладочного массива с требуемой прочностью из солеотходов определяется не только минимизацией расхода затворителя как таковой, а сочетанием удержания рассола, уплотняемости смеси и последующего омоноличивания массива. Расход оборотного рассола 280 кг/м³ соответствует верхней границе влагоотдачи и одновременно обеспечивает наибольшую динамику набора прочности консолидированных составов закладочных смесей. Превышение расхода затворителя сопровождается выделением свободной жидкой фазы, а снижение расхода затворителя до 150–250 кг/м³ ухудшает распределение частиц в составе смеси при уплотнении. Следовательно, расход рассола должен рассматриваться как строго нормируемый структурообразующий и технологический параметр.

Опытно-промышленные исследования подтвердили, что достигнутые в лаборатории характеристики воспроизводятся только при обеспечении требуемой плотности укладки. Пневмомеханизированное заполнение закладочной смеси при угле наклона сопла 270–280° позволило получить плотность 1 590 кг/м³, ограничить усадку массива 3 % и практически исключить рассоловыделение, тогда как недостаточное уплотнение приводило к заметному снижению прочности массива. Поэтому состав смеси сам по себе не является достаточным условием для обеспечения устойчивости закладочного массива; производственный регламент закладки должен включать контроль расхода рассола, плотности, режима укладки и фактической прочности закладочного массива перед обнажением.

В отличие от известных гидравлических и пастовых составов закладочной смеси со значительным оборотом жид-

кой фазы и недозаполнением камер [7–11], разработанный подход придает массиву функцию конструктивного элемента системы разработки. Расчетный прирост извлечения запасов месторождения на 20 % требует подтверждения опытно-промышленными испытаниями отработки междукammerного целика и геомеханическим обоснованием разработки запасов конкретного блока.

Заключение

Выполненные исследования позволили обосновать дифференцированный подход к выбору состава и технологии приготовления консолидируемых закладочных смесей из отходов обогащения сильвинита.

Основные результаты заключаются в следующем:

1. По результатам полного перекрестного эксперимента, включавшего испытания 70 составов и 210 образцов, установлена граница влагоотдачи консолидированной закладочной смеси на основе солеотходов, соответствующая расходу оборотного рассола 280 кг/м³ и влажности смеси 8 %. Для принятого состава, содержащего солеотходов 1 780 кг/м³ и оборотного рассола 280 кг/м³, предел прочности образца закладочного массива при одноосном сжатии составил 2,1 МПа на 30-е сутки, 3,2 МПа на 60-е сутки и 3,6 МПа на 90-е сутки, а модуль деформации к 90-м суткам превысил 300 МПа. Снижение расхода рассола до 150–250 кг/м³ привело к снижению прочности образца закладочного массива, а увеличение расхода рассола свыше 280 кг/м³ сопровождалось выделением избыточной влаги и повышением пористости формируемого массива.

2. Опытно-промышленными испытаниями установлено существенное влияние способа укладки и плотности закладочной смеси на свойства формируемого закладочного массива. При пневмомеханизированной укладке с углом наклона сопла 270–280° достигнута максимальная плотность смеси 1 590 кг/м³, усадка ограничена 3 %, а выделение свободно-

го рассола практически исключено. Испытания штуфов закладочного массива, сформированного в четырех подземных опытно-промышленных нишах, определили прочность 2,8 МПа на 20-е сутки. Полученные результаты подтвердили консолидацию солеотходов в рудничных условиях и показывают, что наряду с регулированием состава смеси необходимо контролировать плотность и режим ее укладки, условия удаления остаточной влаги и фактическую прочность закладочного массива.

3. Для дозаполнения верхней части закладочного массива в камере подобран состав с добавлением цемента, включающий: солеотходов 1 270 кг/м³, цемента 200 кг/м³ и оборотного рассола 450 кг/м³. При таком составе закладочная смесь характеризуется подвижностью 8 см, растекаемостью 13 см и плотностью 1 920 кг/м³. Предел прочности сформированного массива составляет 2,5 МПа на 60-е сутки и 4,3 МПа на 90-е сутки, модуль деформации – 537 МПа. Состав пригоден для пневмоподачи в трубопровод и обеспечивает заполнение прикровельных пустот при относительно небольшом расходе цемента.

4. Разработана технологическая схема с двумя линиями приготовления и подачи закладочной смеси, которая позволяет готовить смесь из солеотходов и оборотного рассола и более подвижную цементсодержащую смесь дозаполнения прикровельных пустот.

5. Для расчетного блока из пяти камер установлено, что выемка одного междукammerного целика после достижения закладочным массивом нормативных характеристик обеспечивает потенциальное увеличение извлекаемого объема запасов как минимум на 20 %, значение характеризует перспективу применения разработанной технологии для конкретной расчетной схемы и не является уже достигнутым показателем по месторождению. Реализация геотехнологии требует геомеханического обоснования и опытно-промышленной апробации в более широких масштабах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Барях А.А., Смирнов Э.В., Квиткин С.Ю. и др. Калийная промышленность России: проблемы рационального и безопасного недропользования. *Горная промышленность*. 2022; (1): 41–50. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-41-50>.
Baryakh A.A., Smirnov E.V., Kvitkin S.Yu., et al. Russian potash industry: issues of rational and safe mining. *Russian Mining Industry*. 2022; (1): 41–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-41-50>.
2. Рыльникова М.В., Олейник Д.Н., Цупкина М.В. Совершенствование правовой и научно-методической базы обращения и управления отходами недропользования. *Горная промышленность*. 2024; (5S): 44–48. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-44-48>.
Ryl'nikova M.V., Oleinik D.N., Tsupkina M.V. Improvement of the legal and scientific-methodological framework for mining waste handling and management. *Russian Mining Industry*. 2024; (5S): 44–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-44-48>.
3. Ковальский Е.Р., Громцев К.В. Разработка технологии закладки выработанного пространства при выемке. *Записки Горного института*. 2022; 254: 202–209. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.36>.
Kovalskii E.R., Gromtsev K.V. Development of the technology of stowing the developed space during mining. *Journal of Mining Institute*. 2022; 254: 202–209. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.36>.
4. Wu A., Wang Y., Ruan Z., et al. Key theory and technology of cemented paste backfill for green mining of metal mines. *Green and Smart Mining Engineering*. 2024; 1 (1): 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.04.003>.
5. Рыльникова М.В., Бергер Р.В., Яковлев И.В. и др. Техно-технологические решения по закладке выработанного пространства при отработке глубокозалегающих пластов сильвинита. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2024; (S2): 167–176. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20240214>.
Ryl'nikova M.V., Berger R.V., Yakovlev I.V., et al. Backfill technologies and designs for deep-level sylvinitic mining. *Physicotechnical Problems of Mineral Resource Development*. 2024;(S2):167–176. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20240214>.
6. Коротченкова О.В. Минералогические особенности соляных пород Гремячинского месторождения калийных солей. *Стратегия и процессы освоения георесурсов: сборник научных трудов*. Пермь, 2018; 16: 8–11.
Korotchenkova O.V. Mineralogical features of salt rocks of the Gremyachinskoye potash deposit. *Strategy and Processes of Geo-resources Development: Collection of Scientific Papers*. Perm: 2018; 16: 8–11. (In Russ.).
7. Рыльникова М.В., Бергер Р.В., Яковлев И.В. и др. Классификация технологий закладки для условий подземной разработки соляных месторождений. *Горная промышленность*. 2024; (5S): 64–70. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-64-70>.

- Rylnikova M.V., Berger R.V., Yakovlev I.V., et al. Classification of backfilling technologies for underground mining of salt deposits. *Russian Mining Industry*. 2024; (5S): 64-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-64-70>.
8. Kovalsky E., Kongar-Syuryun C., Morgoeva A., et al. Backfill for advanced potash ore mining technologies. *Technologies*. 2025; 13 (2): 60. <https://doi.org/10.3390/technologies13020060>.
 9. Jin R., Wang X., Zhang S., et al. Slurry transportation characteristics of potash mine cemented paste backfills via loop test processing. *Processes*. 2024; 12 (12): 2929. <https://doi.org/10.3390/pr12122929>.
 10. Pinkse T., Quensel R., Lack D., et al. Introducing a new approach for the stowage of waste brines from potash mines of the Werra district in Germany as a measure to ensure the safe and sustainable continuation of potash extraction and processing. *Proceedings of the 27th World Mining Congress*. Montreal, 2023: 127-134.
 11. d'Obyrn K. Selection of backfilling technology works in the Ksawer chambers complex of the Wieliczka Salt Mine. *Górnictwo i Geoinżynieria*. 2012; 36 (1): 107-115.
 12. Радченко Д.Н., Бергер Р.В., Татарников В.И. и др. Экспериментальное исследование характера и последствий взаимодействия соляных пород с гидрозакладочными рассолами при подземной разработке месторождений калийных солей. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023; (6): 60-67. https://doi.org/10.56195/20793332_2023_6_60_67.
Radchenko D.N., Berger R.V., Tatarnikov V.I., et al. Experimental study of the nature and consequences of interaction of salt rocks with hydrofilling brines during underground development of potassium salt deposits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2023; (6): 60-67. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2023_6_60_67.
 13. Hu Y., Hu R., Zhang B., et al. Research on mechanical properties and mix proportion design of solid waste-based cemented paste backfill. *Case Studies in Construction Materials*. 2024; 21: 03618. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03618>.
 14. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Комашенко В.И. и др. Управление свойствами твердеющих смесей при закладке выработанного пространства рудных месторождений. *Записки Горного института*. 2020; 243: 285-292. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.3.285>.
Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Komashchenko V.I., et al. Management of hardening mixtures properties when stowing mining sites of ore deposits. *Journal of Mining Institute*. 2020; 243: 285-292. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.3.285>.
 15. ГОСТ 32721–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный и дробленый. Определение насыпной плотности и пустотности. М.: Стандартинформ; 2019.
GOST 32721–2014. Automobile roads of general use. Natural and crushed sand. Determination of bulk density and voids. Moscow: Standartinform; 2019. (In Russ.).
 16. Р 50.1.040–2002. Статистические методы. Планирование экспериментов. Термины и определения. М.: ИПК Издательство стандартов; 2002: 40.
R 50.1.040–2002. Statistical methods. Design of experiments. Terms and definitions. Moscow: IPK Standards Publishing House; 2002: 40. (In Russ.).
 17. Татарников В.И., Бергер Р.В. Результаты опытно-промышленных испытаний условий физико-механических характеристик консолидированного закладочного массива на основе солеотходов Гремячинского месторождения. *Горная промышленность*. 2025; (5S): 69-73. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-69-73>.
Tatarnikov V.I., Berger R.V. Results of pilot-scale industrial tests on the physical and mechanical properties of consolidating backfill based on salt waste from the Gremyachinskoye deposit. *Russian Mining Industry*. 2025; (5S): 69-73. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-69-73>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Валентин Игоревич Татарников –
аспирант отдела проблем моделирования и управления
горнотехническими системами, младший научный
сотрудник лаборатории интеллектуальных методов
мониторинга горнотехнических систем, Институт
проблем комплексного освоения недр им. академика
Н. В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва,
Российская Федерация;
e-mail: valentinpvlparker@gmail.com

Критерии авторства:

Автор выполнил постановку задачи, планирование и
проведение исследований, обработку и интерпретацию
результатов, подготовку и редактирование рукописи.

Конфликт интересов:

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.07.2026

Поступила после рецензирования: 27.07.2026

Принята к публикации: 03.08.2026

ABOUT THE AUTHORS

Valentin I. Tatarnikov –
Postgraduate Student, Department of Challenges in
Modelling and Management of Mining Systems; Junior
Researcher, Laboratory of Intelligent Monitoring Methods
of Mining Systems, Academician N. V. Melnikov Institute of
Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;
e-mail: valentinpvlparker@gmail.com

Contribution:

The author formulated the research problem, planned and
conducted the study, processed and interpreted the results, and
prepared and revised the manuscript.

Conflict of interest:

The author declares no conflict of interest.

Article info

Received: 20.07.2026

Revised: 27.07.2026

Accepted: 03.08.2026

Обоснование параметров инновационных технологий формирования монолитных закладочных массивов для комплексного освоения глубокозалегающих месторождений калийных солей

П. О. Зубков[✉]

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н. В. Мельникова»
Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация
✉ paschazubckov@yandex.ru*

Резюме. При отработке калийных солей на глубинах 900–1100 м устойчивость очистных камер, междукammerных целиков и водозащитной толщи в значительной мере определяется полнотой заполнения выработанного пространства и сроком возведения закладочного массива, способного нагружаться совместно с вмещающими соляными породами. Традиционная гидравлическая закладка при сложной морфологии силвинитового пласта не обеспечивает своевременного формирования из закладочной смеси конструктивного элемента системы разработки из-за длительного отставания закладочных работ, образования прикровельных пустот и недостаточной жесткости формируемого закладочного массива. В статье обоснованы параметры инновационной технологии возведения монолитного консолидированного закладочного массива на основе кристаллизации солеотходов обогащения силвинитов с локальным упрочнением прикровельной зоны цементсодержащей смеси. Исследования выполнены на примере Гремячинского месторождения калийных солей. Используются результаты лабораторных испытаний, натурного мониторинга, опытно-промышленных изысканий и численного геомеханического моделирования. Установлен рациональный состав закладочной смеси: 1 780 кг/м³ солеотходов и 280 кг/м³ оборотного рассола, при котором обеспечивается консолидация смеси и достижение прочности закладочного массива более 3 МПа к 90-м суткам. Доказано, что полное заполнение камеры снижает вертикальную конвергенцию кровли и почвы до 5,4 раза по сравнению с незаложенным состоянием. Увеличение прикровельного недозаклада с 0,2 до 0,6 м приводит к росту зон неупругих деформаций, причем наиболее чувствительным элементом является кровля. Для камер шириной 6 м предложено вести выемку пласта мощностью 3 м одной проходкой комбайна, а при мощности 3–13 м – нисходящими проходами с последующей закладкой на всю высоту камеры. Фаза готовой смеси производится по трубопроводу, закрепленному в кровле камеры из верхней точки. Прикровельная зона дозаполняется смесью с добавлением цемента 200 кг/м³, имеющей подвижность 8 см. Разработанные решения обеспечивают максимальное заполнение камеры, ограничение развития зон неупругих деформаций и возможность поэтапного вовлечения запасов междукammerных целиков в эксплуатацию.

Ключевые слова: калийные соли, монолитный закладочный массив, консолидированная закладка, солеотходы, прикровельный недозаклад, пневматический транспорт, междукammerный целик, геомеханическое моделирование

Для цитирования: Зубков П.О. Обоснование параметров инновационных технологий формирования монолитных закладочных массивов для комплексного освоения глубокозалегающих месторождений калийных солей. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026; 26 (4): 83-93. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-83-93>.

Substantiation of the parameters of innovative technologies for forming monolithic backfill masses for the integrated development of deep-seated potash deposits

P. O. Zubkov✉

Academician N. V. Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ paschazubckov@yandex.ru

Abstract. The stability of mining chambers, interchamber pillars, and the water-protective strata during potash mining at depths of 900–1100 m is largely governed by the degree of backfill placement and the time required to form a backfill mass capable of interacting mechanically with the surrounding salt rock mass. Under conditions of complex sylvinite seam morphology, conventional hydraulic backfilling fails to ensure the timely formation of a structural element of the mining system due to the significant delay in backfilling operations, the formation of roof voids, and the insufficient stiffness of the resulting backfill mass. This paper substantiates the parameters of an innovative technology for constructing a monolithic consolidated backfill mass based on the crystallization of sylvinite processing waste with local reinforcement of the roof-contact zone using a cement-containing mixture. The investigations were carried out using the Gremyachinskoye potash deposit as a case study. The research methodology included laboratory testing, in situ monitoring, pilot-scale investigations, and numerical geomechanical modeling. The optimum composition of the backfill mixture was established to be 1780 kg/m³ of sylvinite processing waste and 280 kg/m³ of recycled brine, providing effective consolidation and enabling the backfill mass to achieve a compressive strength exceeding 3 MPa after 90 days of curing. It was demonstrated that complete filling of the mining chamber reduces the vertical convergence of the roof and floor by up to 5.4 times compared with an unfilled chamber. An increase in the roof-contact underfill from 0.2 m to 0.6 m results in a significant expansion of inelastic deformation zones, with the roof being the most sensitive structural element. For chambers 6 m wide, a single-pass mining method is recommended for seam thicknesses of 3 m, whereas seams 3–13 m thick should be extracted by descending mining passes followed by full-height backfilling. The prepared backfill mixture is pneumatically delivered through a pipeline fixed to the roof and discharged from the uppermost point of the chamber. The roof-contact zone is subsequently filled with a cement-containing mixture incorporating 200 kg/m³ of cement and having a slump of 8 cm. The proposed technological solutions ensure maximum chamber filling, limit the development of inelastic deformation zones, and enable the phased extraction of interchamber pillar reserves.

Keywords: potash deposits; monolithic consolidated backfill mass; consolidated backfilling; sylvinite processing waste; roof-contact underfill; pneumatic transport; interchamber pillar; geomechanical modeling

For citation: Zubkov P.O. Substantiation of the parameters of innovative technologies for forming monolithic backfill masses for the integrated development of deep-seated potash deposits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026; 26 (4): 83-93. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-4-83-93>.

Введение

Рост глубины разработки месторождений калийных солей сопровождается усложнением исходного напряженного состояния массива горных пород, усилением реологических проявлений к техногенным деформациям. Известно, что для соляных пород характерны ползучие, зависимость прочности от времени и влажности, а также перераспределение нагрузок в породах и закладочном массиве. Поэтому закладка выработанного пространства должна рассматриваться не только как способ размещения отходов, но и как элемент геотехнологии, параметры которой определяют устойчивость массива горных пород и полноту извлечения запасов месторождения [1–10].

Гремячинское месторождение отличается высокой глубиной залегания продуктивного пласта (900–1100 м), переменной мощностью сильвинитовой залежи (3–13 м) и сложной волнистой либо куполообразной морфологией кровли и почвы, наличием флексурных нарушений. Камерно-целиковая система отработки с гидрозакладкой предусматривает ширину камеры 6 м и ограничение межкамерных и барьерных целиков расчетными коэффициентами, однако длительное

отставание закладки от очистной выемки и наличие прикровельной незаполненной зоны не позволяют своевременно передавать горное давление на закладочный массив [1, 2, 11, 12].

Слабым местом проекта является допущение, что факт заполнения камеры автоматически означает формирование несущего массива. Это неверно. Геомеханический эффект определяется не объемом размещенного материала как таковым, а сочетанием полноты заполнения, плотности, деформационных характеристик, прочности, закладочного массива и его контактом с кровлей. При наличии даже сравнительно небольшой прикровельной пустоты закладочный массив длительное время не участвует в совместном деформировании с породным массивом, а лишь создает боковой отпор.

Цель исследования заключалась в обосновании технологических и геомеханических параметров формирования монолитного закладочного массива, обеспечивающего максимально возможное заполнение камер, локальное упрочнение прикровельной зоны и возможность безопасного вовлечения части запасов межкамерных целиков в эксплуатацию [3, 12].

Систематизация геотехнологических факторов и условия применения монолитной закладки на основе солеотходов

Сопоставление отечественного и зарубежного опыта разработки калийных месторождений показывает, что выбор системы разработки и параметров закладочных работ определяется не одним фактором, а сочетанием горно-геологических и геомеханических условий. Наиболее существенное влияние оказывают глубина залегания продуктивного пласта, температурный режим массива, мощность и состояние водозащитной толщи, а также морфология и изменчивость мощности калийной залежи. Для обобщения указанных факторов и оценки их влияния на выбор технологии закладки выполнена систематизация основных геотехнологических условий освоения соляных месторождений, приведенная в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 свидетельствует, что Гремячинское месторождение характеризуется сочетанием факторов, существенно осложняющих выбор технологии добычи и закладки: большой глубиной разработки, повышенной температурой массива, изменчивостью мощности водозащитной толщи и резко изменчивой морфологией продуктивного пласта. Негативное влияние такого сочетания усиливается ползучестью соляных пород, что ускоряет развитие деформационных процессов в техногенно изменяемом массиве. В этих условиях традиционные схемы разработки с применением гидравлической закладки, разработанные и широко апробированные для месторождений, залегающих на меньших глубинах, не в полной мере обеспечивают требуемую устойчивость горнотехнических решений и требуют совер-

шенствования применительно к глубокозалегающим сложноструктурным соляным месторождениям

Выбор параметров технологии закладки выполнен с учетом глубины разработки, мощности и морфологии продуктивного пласта, размеров камер и целиков, физико-механических свойств соляных и вмещающих пород, водозащитной толщи и доступного объема солеотходов, мощности пласта сильвинита. При мощности пласта 3 м камера может быть отработана одним проходом комбайна. При мощности пласта более 3 м сплошная выемка на полную высоту формирует чрезмерно высокий незакрепленный контур и повышает вероятность развития неупругих деформаций, поэтому рациональной является нисходящая выемка с последующей закладкой на всю высоту [1–3] (табл. 2).

Основной объем камеры заполняется консолидируемой смесью на базе исключительно солеотходов, для которой необходимы высокая плотность укладки и равномерность распределения. Прикровельная зона заполняется смесью с повышенной подвижностью, способной проникать в локальные участки пустот в кровле и иметь более высокие темпы набора прочности.

Материал и методы исследования

Обоснование параметров геотехнологии выполнено по многоуровневой схеме. На первом этапе были исследованы гранулометрические, минералогические и физико-механические свойства солеотходов, а также динамика консолидации образцов при различном расходе рассола. На втором этапе проведены испытания образцов при одноосном и объемном сжатии для определения модуля деформации, коэффициента Пуассона, сцепления и угла внутреннего трения. На третьем этапе изучались результаты натурного мониторинга конверген-

Таблица 1 / Table 1

Систематизация геотехнологических факторов, влияющих на выбор геотехнологии освоения глубокозалегающих соляных месторождений /
Systematization of geotechnological factors influencing the selection of a mining technology for the development of deep-seated salt deposits

Параметр	Верхнекамское	Беларуськалий	Зарубежные (Германия, Канада)	Гремячинское	Геомеханическое следствие
Глубина залегания продуктивного пласта, м	300–600	600–1000	До 1 200	900–1100	Рост вертикальных напряжений
Температура соляного массива, °C	15–20	20–25	20–30	30–40	Ускорение реологических процессов
Мощность ВЗТ, м	150–400	200–350	100–300	60–325	Повышенные требования к сохранности
Характеристика морфологии пласта	Выдержанная	Умеренно изменчивая	Различная	Резко изменчивая	Неравномерное перераспределение нагрузок

Таблица 2 / Table 2

Основные характеристики геотехнологии / Main Characteristics of the Proposed Mining Technology

Параметр	Принятое значение	Геотехнологическое значение
Глубина кровли пласта	900–1100 м	Высокий уровень горного давления и реологических деформаций
Мощность сильвинитового пласта	3–13 м	Определяет число проходок и порядок закладки
Ширина очистной камеры	6 м	Согласована с комбайновой выемкой и параметрами целиков
Схема выемки при мощности 3 м	Одна проходка	Минимальное время существования незаложенной камеры
Схема выемки при мощности 3–13 м	Нисходящие проходки	Ограничение высоты свободного контура
Расчетный прикровельный недозаклад	Не более 0,3 м	Условие своевременного включения массива в работу
Основной материал	Солеотходы обогащения сильвинита	Утилизация отходов и формирование несущего массива
Упрочненная прикровельная смесь	200 кг цемента/м³, подвижность 8 см	Заполнение сложнопрофильной прикровельной зоны

ции горных выработок для калибровки численной модели. На четвертом этапе выполнено геомеханическое моделирование одиночных камер и группы камер в панели при изменении высоты, типа закладки и величины прикровельного недозаклада. Предлагаемые технологические решения были проверены при опытно-промышленном формировании закладочных консолидированных массивов механизированным и пневматическим способами в поверхностных траншеях и подземных нишах. Исходные физико-механические свойства среды, используемые при моделировании, приведены в таблице 3.

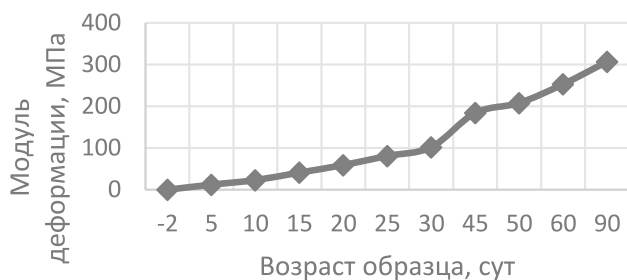


Рис. 1. Значения модуля деформации, полученные при испытании кубических образцов при одноосном сжатии в динамике / Fig. 1. Deformation modulus values obtained during uniaxial compression testing of cubic specimens over time

Критерием выделения области влияния очистной выработки принималась относительная деформация, превышающая $0,5 \cdot 10^{-3}$. Зоны неупругих деформаций определялись по достижении предельного состояния согласно принятой упругопластической модели. При сравнении вариантов контролировались размеры зон в кровле, почве и стенках, концентрация вертикальных и горизонтальных напряжений, а также конвергенция контура камеры. Используемые при геомеханическом моделировании состояния нелинейной деформируемой среды положения приведены ниже.

Моделирование процессов ползучести и разрушения нелинейно-упругой среды

Классическая схема метода конечных элементов предполагает моделирование только линейно-упругих сред.

При этом связь напряжений и деформаций определяется законом Гука, который в матричной форме записывается в следующем виде

$$\{\sigma\} = [D](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}) + \{\sigma_0\}, \quad (1)$$

где $\{\sigma\}$ и $\{\sigma_0\}$ — соответственно компоненты тензоров полных и начальных напряжений; $\{\varepsilon\}$ и $\{\varepsilon_0\}$ — компоненты тензоров полных и начальных деформаций; $[D]$ — матрица упругости, определяющая связь напряжений и деформаций и зависящая только от решаемой задачи и свойств среды.

За счет применения итерационных схем правомерно распространить линейные решения на линейные задачи. Распространение метода конечных элементов на решение нелинейных задач состоит в подборе таких значений $[D]$, $\{\varepsilon\}$ и $\{\sigma_0\}$ для соотношения (1), при которых решение соответствующей линейной задачи будет близко к искомому нелинейному решению [13, 14]. Подбор матрицы жесткости или компонент тензоров начальных деформаций и напряжений осуществляется методом итераций, причем на каждой итерации среда считается линейно-упругой. Метод, заключающийся в подборе $\{\varepsilon\}$, называется методом начальных деформаций, метод начальных напряжений предполагает поиск компонент тензора $\{\sigma_0\}$. Поиск элементов матрицы упругости $[D]$ определяет метод варьируемой жесткости.

При расчетах параметров целиков и оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) массива в условиях Гремячинского месторождения использовался метод варьируемой жесткости. Метод был обоснован еще в 1948 году А. А. Ильюшиным и назывался тогда «методом упругих решений». Позже в геомеханических исследованиях появилась новая формулировка: «метод секущей жесткости» [15–19].

Суть метода состоит в последовательном изменении модуля деформации на каждой итерации расчетов. На первом шаге решается линейно-упругая задача с начальными значениями модуля деформации E_0 и соответствующего ему модулю сдвига G_0 . Затем проводится проверка всех элементов на выполнение выбранного критерия прочности, например критерия Кулона – Мора. Момент начала пластических деформаций определяется по паспорту прочности (рис. 2). На кривой напряжение – деформация находится точка А, соответствующая напряжению сдвига τ_c и касательной предельной деформации γ_c , рассчитанной в этом элементе в момент его разрушения.

По этим данным рассчитывается новый (секущий) модуль сдвига G :

$$G = \tau_c / \gamma_c. \quad (2)$$

Задавшись законом изменения коэффициента Пуассона ν (обычно его принимают неизменным в течение всего итерационного процесса), по секущему модулю сдвига рассчитывается секущий модуль деформации:

$$E = 2G(1 + \nu). \quad (3)$$

После вычисления новых (секущих) упругих констант всех элементов, перешедших в пластическое состояние, реализуется следующая итерация решения новой упругой задачи. Процесс повторяется до тех пор, пока напряженное состояние во всех элементах не будет с заданной точностью удовлетворять критерию прочности.

Таблица 3 / Table 3

Физико-механические характеристики среды, использованные при моделировании / Physical and Mechanical Properties of the Materials Used in Numerical Modeling

Материал	Модуль деформации, ГПа	Коэффициент Пуассона	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
Сильвинит	1,0	0,30	7,5	29
Каменная соль	1,2–1,5	0,30–0,35	5,0–8,0	25–30
Карналлитсодержащие породы	1,1	0,38	3,6	18
Консолидированный закладочный массив	По результатам испытаний (рис. 1)	По результатам испытаний	Калибруется	Калибруется

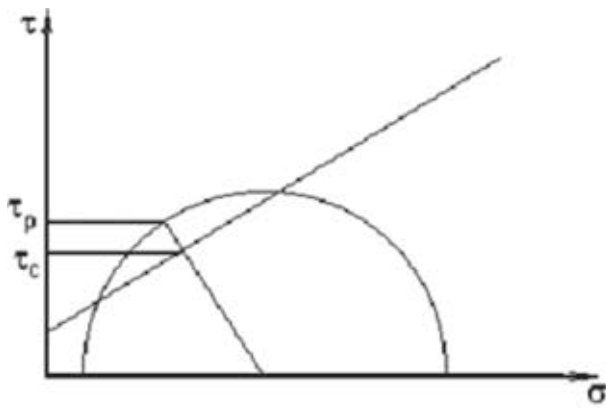


Рис. 2. Паспорт прочности пород для решения нелинейно-упругой задачи методом секущей жесткости: τ_c – напряжение сдвига; γ_c – сдвиговая деформация, соответствующая моменту разрушения /

Fig. 2. Rock strength envelope used for solving the nonlinear elastic problem by the secant stiffness method: τ_c – shear stress; γ_c – shear strain corresponding to failure

При моделировании исходили из того, что закладочная смесь, размещенная в отработанную камеру, первоначально не нагружена ни силой тяжести налегающих пород, ни действующими в массиве горизонтальными силами. При дальнейшей отработке запасов панели происходит дополнительное деформирование вмещающего массива, приводящее к нагружению закладки. Особенностью деформирования закладочного массива является его более низкий по сравнению с вмещающими породами модуль деформации. При этом вмещающие породы не полностью передают нагрузку на закладочный массив, что определяет его деформирование в режиме заданной деформации [20, 21].

Учет последовательности отработки запасов и формирования закладочного массива на НДС породного и закладочного массивов также осуществляется за счет выполнения серии итераций, на каждой из которых последовательно решается линейно-упругая задача.

Авторами [16, 22, 23] в основу решения было положено использование методов начальных деформаций или начальных напряжений, определяемых соотношением (1). Сам же метод расчета был назван авторами методом последовательных циклов (итераций).

Схема расчета базируется на вычислении дополнительных напряжений, вызываемых отработкой очередного блока, и суммировании этих напряжений с начальными напряжениями.

Расчетная схема выглядит следующим образом:

1. Для каждого из блоков закладочного массива рассчитываются тензоры начальных напряжений и деформаций, определяемые силой тяжести закладки в условиях ограниченного бокового расширения. Результаты расчетов в виде стандартных результатов по элементам для каждого блока записываются в отдельный файл.

2. Для первой вынимаемой камеры блока обычным образом решается задача о распределении напряжений и деформаций в ее окрестности. Всем конечным элементам, находящимся в пределах этой камеры, присваивается пренебрежимо малый (нулевой) модуль деформации. В случае моделирования весомой среды на контуре камеры задается отпор, определяемый весом закладочного массива и его коэффициентом Пуассона. Расчет для каждого элемента определяются компоненты полных напряжений и деформа-

ций. Полученный вектор стандартных результатов соответствует периоду завершения отработки камеры.

3. В найденном векторе результаты расчетов для всех элементов, находящихся в контуре выработанного пространства, до закладки и заполнения закладочной смесью, заменяются результатами расчета элементов (при моделировании невесомой среды – заменяются нулями). Полученный вектор результатов определяет компоненты полных напряжений и деформаций на момент отработки камеры и заполнения ее закладочным массивом.

4. При вычислении дополнительных деформаций и напряжений, вызываемых выемкой запасов следующей камеры (заходки), обнуляются модули деформации элементов, находящихся в контуре обрабатываемой камеры, а из стандартных результатов этих элементов, полученных в п. 3, составляется глобальный вектор узловых сил (результаты остальных элементов и граничные условия, использованные в п. 2, не учитываются). С полученным глобальным вектором узловых сил и новой глобальной матрицей жесткости обычным образом производится расчет дополнительных напряжений и деформаций.

5. Полученные компоненты дополнительных напряжений и деформаций прибавляются к компонентам полных напряжений и деформаций, определенных в п. 3. Далее процесс возвращается на п. 3.

6. При моделировании нелинейно-упругих сред производится проверка выполнения выбранных критериев прочности в каждом конечном элементе. В случае необходимости производится корректировка деформационных свойств элементов, перешедших в предельное состояние, составляется новая глобальная матрица жесткости и проводится новый расчет НДС массива пород и закладочного с прежним глобальным вектором узловых сил. После этого процесс возвращается на п. 5.

Итерации продолжают до тех пор, пока погрешность расчетов не превысит заданную.

При этом важно учитывать, что при заполнении камер твердеющей смесью неизбежен их частичный недозаклад. В результате образуется полость, через которую не передаются нагрузки от налегающих пород. По мере «схлapyивания» этой полости нагрузки на закладочный массив начинают возрастать.

Для моделирования этой ситуации в работах [23–25] было рекомендовано применение варианта метода секущей жесткости с применением модели упрочняющейся среды. Суть подхода состоит в том, что для конечных элементов (или контакт-элементов) задается критическая деформация сжатия $\epsilon_{кр}$, при достижении которой модуль деформации конечных элементов, аппроксимирующих такую среду, становится отличным от нуля и начинает расти.

Очевидно, что при моделировании контакта закладки с породами кровли величина этой критической деформации должна быть равна $\epsilon_{кр} = 1$ (в дальнейшем будем считать сжимающие деформации положительными). Предельная величина модуля деформации такой среды не должна превышать наибольшего из модулей деформации контактирующих материалов и, как правило, должна совпадать с модулем деформации закладочного массива.

Характер деформирования контакта пород и закладочный массив после достижения им критической деформации по аналогии с трещинами описывается гиперболической зависимостью вида:

$$\frac{\varepsilon_n - \varepsilon_{кр}}{\varepsilon_{кр}} = A \left(\frac{\varepsilon_n - \varepsilon_{кр}}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{кр}} \right)^t, \quad (4)$$

где ε_n – нормальная к поверхности контакта деформация; $\varepsilon_{\max}$ – нормальная деформация, при которой достигается предельный модуль деформации; A и t – безразмерные коэффициенты.

Выражение, определяющее модуль деформации, в общем случае имеет следующий вид:

$$0 \leq E = E_0 + (E_{\max} - E_0) \left(\frac{\varepsilon_n - \varepsilon_{кр}}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{кр}} \right)^b, \quad (5)$$

где E_0 – значение начального модуля деформации при $\varepsilon_n < \varepsilon_{кр}$ ($E_0 \approx 0$); $E_{\max}$ – значение максимально возможного модуля деформации контакта.

Обоснование состава и свойств основного объема закладочного массива

Лабораторные исследования показали, что консолидация солеотходов определяется не только продолжительностью процессов кристаллизации солей, но и исходной влажностью, плотностью укладки смеси и расходом оборотного рассола. Недостаточное содержание жидкой фазы не обеспечивает перераспределение частиц и формирование тесных контактных связей, тогда как избыточная влажность приведет к росту объема отжимного рассола, повышенной усадке закладочного массива и росту сроков набора им прочности. Для рассматриваемых солеотходов рациональным принят состав 1 780 кг/м³ солеотходов и 280 кг/м³ рассола [11, 12, 26, 27]. Рекомендуемые составы представлены в таблице 4.

Таблица 4 / Table 4

Рекомендуемые составы закладочных смесей и технология их укладки /

Recommended Backfill Mix Designs and Placement Technology

Функциональная зона	Состав смеси	Назначение
Основной объем камеры	1 780 кг/м ³ солеотходов + 280 кг/м ³ оборотного рассола	Формирование плотного консолидированного массива
Прикровельная зона	Твердеющая смесь, расход цемента 200 кг/м ³ ; подвижность 8 см	Контакт с кровлей, заполнение локальных пустот, ускоренное упрочнение
Основание камеры	Гидроизолирующий экран и зумпф	Сбор отжимных растворов и защита карналлитсодержащих пород

К 90-м суткам прочность образцов рационального состава превышала 3 МПа. Для закладки на калийных месторождениях данное значение не следует трактовать как норматив: требуемая прочность зависит от срока вовлечения междуканальных целиков в эксплуатацию, высоты камеры, размера недозаклада и жесткости вмещающих пород. Более важным результатом является подтверждение устойчивого процесса консолидации солей и возможности формирования закладочного массива с формированием требуемых прочностных и деформационных характеристик. При расходе рассола порядка 100 кг/м³ в закладочной смеси выраженная

консолидация не развивается, поэтому снижение влажности только ради уменьшения усадки массива является ошибочным решением.

Во время испытания образцов в ходе объемного сжатия установлено, что консолидированный закладочный массив способен воспринимать возрастающую нагрузку при боковом обжатии, характерном для замкнутого выработанного пространства. Следовательно, оценка его работоспособности только по пределу прочности при одноосном сжатии недостаточна. В натурных условиях массив работает в сложном напряженном состоянии, а его несущая способность возрастает при контакте с боковыми породами и кровлей.

Оценка влияния полноты заполнения выработанного пространства смесью на геомеханическое состояние подработанного массива

Численное моделирование было выполнено для незаложенной камеры, камеры с консолидируемой закладкой при недозакладе 0,2 и 0,6 м, полностью заполненной камеры и камеры с гидравлической закладкой при недозакладе 0,6 м. Результаты показали, что именно полнота заполнения камеры является определяющим параметром. При сроке существования незаложенной камеры более 90 суток зоны неупругих деформаций развиваются в кровле, почве и стенках, а последующая закладка не устраняет уже накопленные необратимые деформации [1, 2, 7, 12]. Результаты моделирования представлены на рисунке 3, а сравнительная оценка результатов приведена в таблице 4.

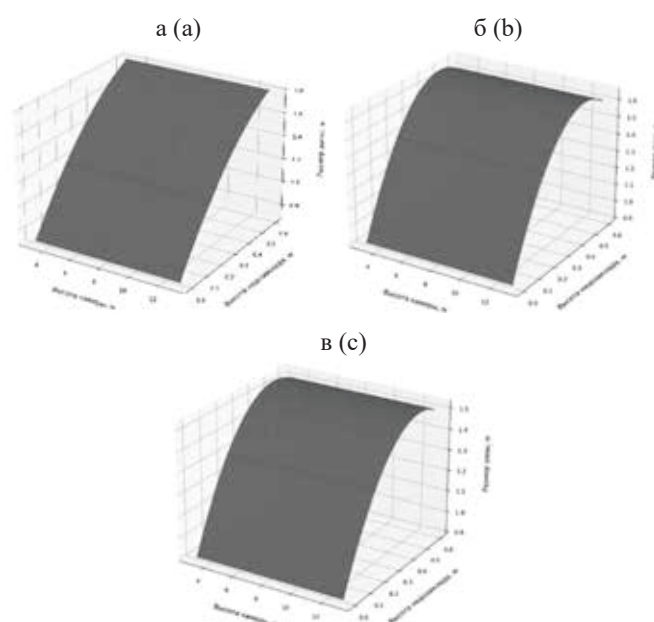


Рис. 3. Зависимость размеров зоны неупругих деформаций в кровле (а), почве (б), стенках (в)

от высоты камеры и величины прикровельного недозаклада / Fig. 3. Dependence of the dimensions of the inelastic deformation zone in the roof (a), floor (b), and sidewalls (c) on chamber height and roof-contact underfill thickness

Различие формы поверхности на рисунке 3а обусловлено тем, что при одинаковой квадратичной структуре зависимостей коэффициенты при линейном и квадратичном членах неодинаковы. В частности, меньшее по модулю значение коэффициента при $(h_n / H_k)^2$ в уравнении для $L_{кр}$ приводит к

более плавному изменению функции и меньшей кривизне поверхности по сравнению с зависимостями для L_n и L_{cr} .

Рост высоты камеры увеличивает размеры зон неупругих деформаций во всех элементах контура камеры. Одновременно возрастает чувствительность системы к прикровельному недозакладу. Кровля является наиболее критичным элементом: увеличение незаполненной зоны с 0,2 до 0,6 м способствует прогибу кровли и повышает концентрацию напряжений в краевых частях целиков. Полное заполнение выработанного пространства сокращает размеры этих зон и снижает вертикальную конвергенцию в 5,4 раза.

Полученные данные опровергают принятый подход, когда степень заполнения камеры оценивается только отношением объема подаваемой закладочной смеси к геометрическому объему камеры. Для сложнопрофильной залежи одинаковый коэффициент заполнения может соответствовать различному положению пустот. Локальная прикровельная полость в зоне перегиба кровли значительно опаснее равномерно распределенной усадки того же объема. Поэтому в технологическом регламенте необходимо нормировать не только интегральный коэффициент заполнения выработанного пространства, но и максимальную высоту локального недозаклада.

Технология формирования монолитного консолидированного закладочного массива

Предлагаемая технология основана на размещении передвижного подземного закладочного комплекса в непосредственной близости от очистных работ. Солеотходы дозируются, доувлажняются оборотным рассолом и пневмонасосом подаются по трубопроводу, закрепленному в кровле камеры. Трубопровод закрепляется в верхней точке заполняемого пространства. Такое расположение исключает преждевременное перекрытие потока нижними слоями, обеспечивает заполнение участков переменной высоты и создает возможность непрерывного наращивания закладочного массива [3, 11, 12].

Принципиальная схема показана на рисунке 4.

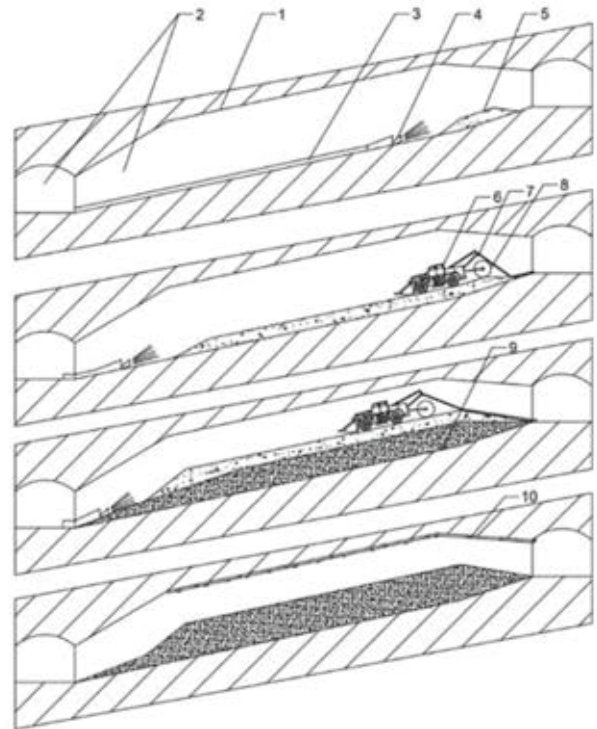


Рис. 4. Стадии возведения консолидированного закладочного массива в камере /

Fig. 4. Stages of Construction of the Consolidated Backfill Mass within the Mining Chamber

Основной объем закладочного массива формируется без длительных перерывов, что уменьшает количество ослабленных межслойных контактов.

После окончания подачи основного состава смеси выполняется контроль положения поверхности массива и дозаполнение прикровельной зоны твердеющей смесью. При

Таблица 5 / Table 5

Сравнительная геомеханическая оценка вариантов закладки / Comparative Geomechanical Assessment of Backfilling Options

Вариант	Контакт с кровлей	Геомеханический результат	Оценка
Камера без закладки	Отсутствует	Интенсивное развитие пластических зон и ползучести	Недопустим как штатный режим
Консолидированная закладка, недозаклад 0,6 м	Запаздывающий	Рост зон в кровле и стенках	Нерационален
Консолидированная закладка, недозаклад 0,2–0,3 м	Ранний	Ограничение конвергенции и зон неупругих деформаций	Допустим
Полное заполнение камеры	Непосредственный	Минимальные зоны, снижение конвергенции до 5,4 раза	Наиболее эффективен
Гидрозакладка, недозаклад 0,6 м	Запаздывающий	Наихудшие показатели среди заложенных вариантов	Не обеспечивает конструктивную функцию

Таблица 6 / Table 6

Основные требования и характеристики закладки / Main Requirements and Characteristics of the Backfill

Элемент технологии	Рекомендуемый параметр	Обоснование
Размещение комплекса	В панели, вблизи зоны очистных работ	Снижение длины транспортирования и повышение мобильности
Транспорт основного состава	Пневмоподача по кровельному трубопроводу	Заполнение верхней точки и камер переменной мощности
Режим формирования	Непрерывный либо с минимальными перерывами	Исключение ослабленных межслойных контактов
Высота локального недозаклада	Не более 0,3 м	Ограничение развития зон неупругих деформаций
Дозакладка	Бетононасосом твердеющей смесью	Формирование контакта с кровлей
Контроль растворов	Гидроизоляция основания и зумпф	Защита карналлитсодержащих подстилающих пород

сложной морфологии кровли подача ведется через отдельные участки трубопровода либо последовательно перемещаемые выпускные патрубки. Применение смеси подвижностью 8 см позволяет заполнить локальные неровности, однако чрезмерное увеличение подвижности недопустимо из-за риска расслоения и роста количества отжимного раствора. Основные требования и характеристики стадий возведения закладочного массива в камере приведены в таблице 6.

Параметры выемки и последовательность отработки запасов

При мощности пласта 3 м отработку камеры следует вести одним проходом комбайна с последующим возведением закладочного массива. При мощности пласта 6–13 м выемку следует вести нисходящими заходками. После отработки верхней или очередной проходки формируется закладочный слой на всю высоту камеры. Конкретное число слоев определяется мощностью пласта и возможностями выемочного оборудования [12].

Рекомендуемая последовательность отработки панели приведена в таблице 6.

Для выемки запасов предложена четырехстадийная последовательность. На первой стадии отрабатываются две фланговые камеры, на второй – центральная камера, на третьей – две камеры между ранее отработанными участками, на четвертой – оставшиеся камерные запасы. Такой порядок рассредоточивает зоны концентрации напряжений и формирует чередование несущих целиков с уже консолидированными закладочными массивами. Вовлечение в эксплуатацию междукamerных целиков допускается только после достижения закладочным массивом требуемых характеристик.

Таблица 7 / Table 7

Рекомендуемая последовательность отработки панели / Recommended Mining Sequence for Panel Extraction

Стадия	Отрабатываемые элементы	Функция стадии
I	Две фланговые камеры	Формирование опорных заложённых зон по краям панели
II	Центральная камера	Симметрирование перераспределения нагрузок
III	Две камеры между ранее отработанными	Последовательное сокращение пролетов целиков
IV	Оставшиеся камеры и при обосновании часть МКЦ	Завершение отработки с опиранием на сформированные массивы

Практическая и технико-экономическая эффективность

Практический эффект от реализации технологии складывается из четырех компонентов: повышения полноты извлечения сильвинита, сокращения срока стояния незаложенных камер, использования отходов обогащения в качестве техногенного сырья и ограничения деформаций налегающего подработанного массива. Наиболее существенный экономический результат связан не с удешевлением одного кубометра закладочной смеси, а с возможностью вовлечения части запасов междукamerных целиков и продления срока службы рудника [3, 12].

Обобщение эффектов внедрения представлено в таблице 8.

Консолидированная закладка требует дополнительных затрат на подготовку смеси, пневматический транспорт, ги-

дроизоляцию и дозаполнение прикровельной зоны. Ее преимущество формируется на уровне всей геотехнологической системы: повышается извлечение, уменьшается объем поверхностного складирования солеотходов, снижаются геомеханические риски и создаются условия для последовательной доработки запасов.

Таблица 8 / Table 8

Эффекты внедрения предлагаемой технологии / Expected Benefits of the Proposed Technology

Показатель	Результат
Геомеханика	Снижение конвергенции и размеров зон неупругих деформаций при раннем контакте с кровлей
Полнота извлечения	Возможность поэтапного вовлечения части запасов МКЦ; прирост извлечения не менее 20 % в рассматриваемых вариантах
Обращение с отходами	Возврат солеотходов в выработанное пространство вместо поверхностного складирования
Безопасность	Сокращение времени существования незаложенных камер и ограничение деформаций водозащитной толщ
Срок службы рудника	Продление за счет вовлечения ранее оставляемых запасов

Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что применительно к глубокозалегающим месторождениям калийных солей геомеханическая эффективность закладки определяется не столько прочностью закладочного массива, сколько условиями и временем его включения в совместное деформирование с вмещающими породами. При отсутствии контакта с кровлей закладочный массив в начальный период воспринимает преимущественно боковое давление и не ограничивает вертикальные смещения контура камеры. Поэтому одинаковые значения интегрального коэффициента заполнения выработанного пространства могут соответствовать принципиально различному геомеханическому состоянию массива в зависимости от расположения и высоты незаполненной прикровельной зоны. Это подтверждает необходимость нормирования не только общего объема поданной смеси, но и максимальной величины локального недозаклада.

Установленное снижение вертикальной конвергенции кровли и почвы до 5,4 раза при полном заполнении камеры подтверждает определяющую роль раннего контакта закладочного массива с кровлей. При этом увеличение недозаклада с 0,2 до 0,6 м приводит к росту зон неупругих деформаций во всех элементах контура, однако наиболее выраженная реакция наблюдается в кровле. Такая закономерность обусловлена тем, что прикровельная полость исключает непосредственную передачу нагрузки на закладочный массив и создает условия для прогиба пород кровли, локального увеличения пролета и концентрации напряжений в краевых частях междукamerных целиков. Следовательно, ограничение недозаклада величиной не более 0,3 м является не только технологическим требованием к качеству заполнения камеры, но и геомеханическим условием своевременного включения закладки в работу.

Сравнение рассмотренных вариантов показывает, что гидравлическая закладка с прикровельным недозакладом 0,6 м не обеспечивает требуемой конструктивной функции. Несмотря на размещение значительного объема материа-

ла в выработанном пространстве, позднее вступление гидрозакладочного массива в контакт с кровлей не позволяет компенсировать необратимые деформации, накопленные в период существования незаложенной камеры. Тем самым подтверждается несостоятельность подхода, при котором эффективность закладочных работ оценивается преимущественно по объему размещенных отходов. Для глубоких калийных рудников критерием эффективности должно выступать фактическое участие сформированного массива в перераспределении горного давления.

Результаты лабораторных исследований подтверждают возможность формирования монолитного консолидированного массива без использования цемента в основном объеме камеры. Состав, включающий 1 780 кг/м³ солеотходов и 280 кг/м³ оборотного рассола, обеспечивает устойчивое развитие процессов кристаллизационной консолидации и достижение прочности более 3 МПа к 90-м суткам. Вместе с тем полученное значение прочности не следует рассматривать как универсальный норматив. Требуемые характеристики закладки должны назначаться с учетом высоты камеры, величины прикровельного недозаклада, срока последующей выемки междукамерных целиков и деформационных свойств вмещающих пород. Более существенным результатом является установленная способность массива воспринимать возрастающую нагрузку в условиях ограниченного деформирования, характерного для замкнутого выработанного пространства. Это означает, что оценка закладки только по пределу прочности при одноосном сжатии недостаточна и должна дополняться определением ее деформационной жесткости и поведения в условиях объемного напряженного состояния.

Предлагаемое разделение закладочного массива на две функциональные зоны позволяет устранить противоречие между экономичностью и необходимостью обеспечить надежный контакт с кровлей. Основной объем камеры формируется из относительно дешевой консолидируемой смеси на основе солеотходов и оборотного рассола, тогда как цементосодержащая смесь применяется локально, только для заполнения сложнопрофильной прикровельной зоны. Расход цемента 200 кг/м³ и подвижность смеси 8 см обеспечивают проникновение материала в локальные неровности кровли и ускоренное формирование контактного слоя. Такой подход рациональнее полного заполнения всей камеры цементной твердеющей смесью, поскольку позволяет ограничить расход вяжущего без снижения геомеханического эффекта.

Технологическая схема пневматической подачи смеси по трубопроводу, закрепленному в кровле и выведенному в верхнюю точку камеры, согласуется со сложной волнистой и куполообразной морфологией сильвинитового пласта. В отличие от подачи материала из нижних участков камеры, такое расположение выпускного патрубка снижает вероятность преждевременного перекрытия транспортного потока ранее уложенными слоями и повышает полноту заполнения участков переменной высоты. Однако эффективность данной схемы зависит от непрерывности формирования массива, контроля положения его поверхности и своевременной дозакладки локальных пустот. Следовательно, предлагаемую технологию необходимо рассматривать как единый комплекс операций, а не только как способ транспортирования смеси.

Обоснованный порядок выемки – одной проходкой при мощности пласта 3 м и нисходящими проходами при мощности 3–13 м – направлен на сокращение времени существо-

вания высокого незакрепленного контура. Четырехстадийная последовательность отработки панели дополнительно обеспечивает рассредоточение зон концентрации напряжений и формирование чередующихся междукамерных целиков и консолидированных закладочных массивов. Это создает предпосылки для последующего вовлечения части запасов целиков, однако само наличие закладки не является достаточным основанием для их выемки. Такое решение должно приниматься только после подтверждения требуемой прочности и жесткости закладочного массива, анализа фактической конвергенции и контроля состояния водозащитной толщи.

Практическое значение результатов заключается в переходе от традиционного понимания закладки как способа размещения солеотходов к ее использованию в качестве управляемого конструктивного элемента геотехнологии. Применение предложенных решений позволяет одновременно уменьшить деформации подработанного массива, сократить продолжительность существования незаложенных камер, вернуть отходы обогащения в выработанное пространство и повысить полноту извлечения запасов. Вместе с тем результаты получены применительно к конкретным горно-геологическим условиям Гремячинского месторождения. Для их распространения на другие участки или месторождения необходима дополнительная адаптация параметров смеси, допустимого недозаклада и последовательности выемки с учетом глубины разработки, температуры массива, мощности водозащитной толщи и реологических свойств соляных пород.

Закключение

1. Для глубокозалегающих калийных месторождений эффективность закладки определяется не только объемом размещенного материала, но и качеством контакта с кровлей, величиной локального недозаклада, деформационной жесткостью закладочного массива и скоростью его консолидации.

2. Доказано, что состав монолитной закладочной смеси 1 780 кг/м³ солеотходов и 280 кг/м³ оборотного рассола обеспечивает устойчивую консолидацию и достижение прочности к 90-м суткам более 3 МПа.

3. Установлено, что увеличение прикровельного недозаклада с 0,2 до 0,6 м вызывает рост зон неупругих деформаций на контуре очистной камеры; наиболее чувствительной является кровля. Полное заполнение камеры снижает вертикальную конвергенцию кровли и почвы в 5,4 раза.

4. Разработана технологическая схема пневматической подачи закладочной смеси по закрепленному в кровле трубопроводу в верхнюю точку камеры с последующим дозаполнением прикровельной зоны твердеющей смесью с расходом цемента 200 кг/м³, что обеспечивает подвижность смеси 8 см.

5. Рекомендована для камер шириной 6 м при мощности пласта 3 м выемка одной проходкой комбайна, а при мощности 3–13 м – нисходящими проходами с последующей закладкой камеры на всю высоту при ограничении недозаклада до 0,3 м.

6. Обоснован четырехстадийный порядок отработки панели, что создает систему чередующихся целиков и консолидированных закладочных массивов, что позволяет рассматривать перспективу поэтапного вовлечения запасов междукамерных целиков при обязательном мониторинге состояния техногенно изменяемого массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Барях А.А., Котляр Е.К., Самodelкина Н.А. и др. Геомеханический анализ влияния извлечения калийной руды на безопасность горных работ. *Горный журнал*. 2015; 11: 14-19. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.11.03>.
Baryakh A.A., Kotlyar E.K., Samodelkina N.A., et al. Geomechanical analysis of the influence of potash ore extraction on mining safety. *Mining Journal*. 2015; (11): 14-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.11.03>.
2. Ветров С.В., Одинцев В.Н., Слоним М.Э. Сопоставление технологических схем разработки Яковлевского месторождения по фактору напряженно-деформированного состояния массива горных пород и закладки. *Проблемы комплексного освоения месторождений: сборник научных трудов*. 1979: 110-124.
Vetrov S.V., Odintsev V.N., Slonim M.E. Comparison of mining layouts for the Yakovlevskoye deposit based on the stress-strain state of the rock mass and backfill. *Problems of Integrated Mineral Deposit Development: Collection of Scientific Papers*. 1979: 110-124. (In Russ.).
3. Кузнецов С.В., Одинцев В.Н. Метод последовательных циклов расчета напряженно-деформированного состояния массива горной породы и закладки выработанного пространства. *Вопросы механики горных пород при разработке рудных месторождений твердых полезных ископаемых: сборник научных трудов*. Москва, 1979: 97-109.
Kuznetsov S.V., Odintsev V.N. Method of successive calculation cycles for determining the stress-strain state of the rock mass and mined-out void backfill. *Rock Mechanics Problems in the Development of Solid-Mineral Ore Deposits: Collection of Scientific Papers*. Moscow, 1979: 97-109. (In Russ.).
4. Соловьев В.А., Аптуков В.Н., Тарасов В.В. и др. Аспекты повышения эффективности разработки Верхнекамского калийного месторождения. Новосибирск, 2019: 179.
Soloviev V.A., Aptukov V.N., Tarasov V.V., et al. *Aspects of Improving the Efficiency of the Verkhnekamskoye Potash Deposit Development*. Novosibirsk, 2019: 179. (In Russ.).
5. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Принципы и методы ресурсосберегающего освоения недр. Москва, 2012: 328.
Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. *Principles and Methods of Resource-Saving Subsurface Development*. Moscow, 2012: 328. (In Russ.).
6. He M., Wang Q. Rock dynamics in deep mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2023; 33 (9): 1065-1082. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2023.07.006>.
7. Ranjith P.G., Zhao J., Ju M. et al. Opportunities and Challenges in Deep Mining: A Brief Review. *Engineering*. 2017; 3 (4): 546-551. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.024>.
8. Ushakova E., Perevoshchikova A., Menshikova E., et al. Environmental Aspects of Potash Mining: A Case Study of the Verkhnekamskoe Potash Deposit. *Mining*. 2023; 3: 2. <https://doi.org/10.3390/mining3020011>.
9. Vandeginste V., Ji Y., Buyschaert F., et al. Mineralogy, microstructures and geomechanics of rock salt for underground gas storage. *Deep Under-ground Science and Engineering*. 2023; 2 (2): 129-147. <https://doi.org/10.1002/dug2.12039>.
10. Weber F., Konietzky H. Concept to proof long-term safety of abandoned salt mines by hydro-mechanical coupled simulations with FLAC3D and Ansys Fluent. *Deep Resources Engineering*. 2025; 2 (4): 100201. <https://doi.org/10.1016/j.deeps.2025.100201>.
11. Рыльникова М.В., Бергер Р.В., Зубков П.О. и др. Развитие научно-методических основ технологий закладки выработанного пространства с учетом специфики горно-геологических и горнотехнических условий освоения соляных месторождений. *Рациональное освоение недр*. 2024; 1 (75): 36-43.
Rylnikova M.V., Berger R.V., Zubkov P.O., et al. Development of scientific and methodological foundations for mined-out void backfilling technologies considering the specific geological and mining conditions of salt-deposit development. *Rational Development of Mineral Resources*. 2024; 1 (75): 36-43. (In Russ.).
12. Соловьев В.А., Аптуков В.Н., Ваулина И.Б. Поддержание горных выработок в породах соленосной толщи. Теория и практика. Новосибирск, 2017: 264.
Soloviev V.A., Aptukov V.N., Vaulina I.B. Maintenance of Mine Workings in Salt-Bearing Rocks: Theory and Practice. Novosibirsk, 2017: 264. (In Russ.).
13. Зотеев О.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород численными методами. *Известия вузов. Горный журнал*. 2003; 5: 108-115.
Zoteev O.V. Numerical modelling of the stress-strain state of a rock mass. *Universities News. Mining Journal*. 2003; (5): 108-115. (In Russ.).
14. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. Москва, 1974: 240.
Zienkiewicz O.C., Cheung Y.K. *The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics*. Moscow, 1974. 240. (In Russ.).
15. Радченко Д.Н., Бергер Р.В., Татарников В.И. и др. Экспериментальное исследование характера и последствий взаимодействия соляных пород с гидрозакладочными рассолами при подземной разработке месторождений калийных солей. *Маркшейдерия и недропользование*. 2023; 6 (128): 60-67. https://doi.org/10.56195/20793332_2023_6_60_67.
Radchenko D.N., Berger R.V., Tatarnikov V.I., et al. Experimental study of the nature and consequences of the interaction between salt rocks and hydraulic-backfill brines during underground mining of potash deposits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2023; 6 (128): 60-67. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2023_6_60_67.
16. Ухов С.Б. Скальные основания гидротехнических сооружений. Москва, 1975: 263.
Ukhov S.B. *Rock Foundations of Hydraulic Engineering Structures*. Moscow, 1975: 263. (In Russ.).
17. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. Москва, 1987: 221.
Fadeev A.B. The Finite Element Method in Geomechanics. Moscow, 1987: 221. (In Russ.).
18. Shupletsov Ju.P., Zoteev O.V., Shashkin V.N. In-situ and analytical investigations of post-peak deformation of rock mass during underground mining. Safety and Environmental Issues in Rock Engineering: Proc. ISRM international symposium. Lissabon. 21-24 June 1993. Ed. L.Riberio E Sousa & N. F. Grossman. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema, 1993: 709-714.
19. Viokh N.P., Zoteev O.V. A technique and program for computing stress-strain state of mining system elements and mining openings in solid and fractured rock mass. Numerical Methods in Geomechanics Innsbruck, 1988: Proc. 6 Int. Conf on numerical methods in geomechanics. Innsbruck/ 11-15 April 1988. Ed. G.Swoboda. Rotterdam, Brookfield: A. A. Balkema, 1988; 3: 1947-1952.
20. Барях А.А., Асанов В.А., Самodelкина Н.А. и др. Геомеханическое обеспечение защиты калийных рудников от затопления. *Горный журнал*. 2013; 6: 30-34.
Baryakh A.A., Asanov V.A., Samodelkina N.A., et al. Geomechanical support for protecting potash mines against flooding. *Mining Journal*. 2013; 6: 30-34. (In Russ.).

21. Гудман Р. Механика скальных пород. Москва, 1987: 232.
Goodman R.E. *Introduction to Rock Mechanics*. Moscow, 1987. 232 p. (In Russ.).
22. Курленя М.В., Серяков В.М. О методе расчета напряженно деформированного состояния горных пород с учетом контакта кровли и почвы выработанного пространства. *ФТПРПИ*. 1997; 5: 14-23.
Kurlenya M.V., Seryakov V.M. A method for calculating the stress-strain state of rocks with consideration of contact between the roof and floor of the mined-out space. *Journal of Mining Science*. 1997; (5): 14-23. (In Russ.).
23. Зотеев О.В. Учет последовательности ведения горных работ при оценке устойчивости конструктивных элементов разработки. *Известия УГГА*. 2000; 11: 252-259.
Zoteyev O.V. Accounting for the mining sequence in assessing the stability of structural elements of a mining system. *Izvestiya UGGA*. 2000; (11): 252-259. (In Russ.).
24. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная геотехнология. Москва, 2012: 344.
Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. *Combined Geotechnology*. Moscow, 2012: 344. (In Russ.).
25. Кузнецов С.В., Одинцев В. Н., Слоним М.Э. и др. Методология расчета горного давления. Москва, 1981: 103.
Kuznetsov S.V., Odintsev V.N., Slonim M.E., et al. *Methodology for Rock Pressure Calculation*. Moscow, 1981: 103. (In Russ.).
26. Хайрутдинов М.М., Вотяков М.В. Возможность применения систем с твердеющей закладкой при отработке калийных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007; 9: 265-270.
Khairutdinov M.M., Votyakov M.V. Feasibility of using cemented-backfill mining systems in potash-deposit development. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2007; 9: 265-270. (In Russ.).
27. Хайрутдинов М.М., Вотяков М.В. Разработка составов твердеющих закладочных смесей из отходов переработки руд калийных предприятий. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007; 10: 200-206.
Khairutdinov M.M., Votyakov M.V. Development of cemented backfill mixtures using waste generated by potash-ore processing enterprises. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2007; (10): 200-206. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Павел Олегович Зубков –

аспирант отдела проблем моделирования и управления горнотехническими системами, младший научный сотрудник лаборатории интеллектуальных методов мониторинга горнотехнических систем, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: paschazubckov@yandex.ru

Критерии авторства:

Автор выполнил постановку задачи, планирование и проведение исследований, обработку и интерпретацию результатов, подготовку и редактирование рукописи.

Конфликт интересов:

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.07.2026

Поступила после рецензирования: 28.07.2026

Принята к публикации: 03.08.2026

ABOUT THE AUTHOR

Pavel O. Zubkov –

Postgraduate Student, Department of Challenges in Modelling and Management of Mining Systems; Junior Researcher, Laboratory of Intelligent Monitoring Methods of Mining Systems, Academician N. V. Melnikov Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: paschazubckov@yandex.ru

Contribution:

The author formulated the research problem, planned and conducted the study, processed and interpreted the results, and prepared and revised the manuscript.

Conflict of interest:

The author declares no conflict of interest.

Article info

Received: 20.07.2026

Revised: 28.07.2026

Accepted: 03.08.2026

Журнал включен в перечень ВАК по специальностям:

- 1.6.21. Геоэкология (технические науки),
- 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр (технические науки),
- 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки),
- 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика (технические науки)
- 2.8.7. Теоретические основы проектирования горнотехнических систем (технические науки),
- 2.8.8. Геотехнология, горные машины (технические науки),
- 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых (технические науки).



@minexrussia
TG Канал

**МАЙНЕКС 2026
РОССИЯ**

7–8 октября 2026 года Москва, Рэдиссон Славянская

22-Й СЕЗОН ГЛАВНОГО ГОРНОГО ФОРУМА СТРАНЫ

МАЙНЕКС Россия — это не просто крупнейшая площадка для обсуждения геологии, добычи и сырьевой политики. Это место, где формируются решения, определяющие будущее минерально-сырьевого комплекса России.

- ♦ Стратегические сессии и отраслевые дискуссии
- ♦ Инновации, технологии, цифровые решения для ГРП, добычи и переработки
- ♦ Презентации проектов и инвестиционные панели
- ♦ Федеральные регуляторы, компании-недропользователи, научные центры, инвесторы и подрядчики
- ♦ Выставка оборудования, технологий и сервисов
- ♦ Networking нового поколения — с персональной системой встреч и цифровыми бизнес-картами

**БУДЬТЕ СРЕДИ ТЕХ, КТО ОПРЕДЕЛЯЕТ ПРАВИЛА
И СОЗДАЁТ БУДУЩЕЕ ОТРАСЛИ.**

0+

minexrussia.ru



@minexrussia
TG Канал



РОССЫПНОЕ ЗОЛОТО РОССИИ

ВСЕРОССИЙСКИЙ ФОРУМ

19–20 августа 2026 года, Хабаровск

ВСЕРОССИЙСКИЙ ФОРУМ (ВФР) «РОССЫПНОЕ ЗОЛОТО РОССИИ: ПУТИ РАЗВИТИЯ, РЕГУЛИРОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ»

Всероссийский форум «Россыпное золото России: пути развития, регулирование, технологии» — ключевая площадка страны, посвящённая вопросам геологоразведки, добычи и переработки россыпного золота.

Форум охватывает полный цикл — от поисков и оценки до добычи, переработки и экологической ответственности. Это пространство прямого диалога, обмена опытом и формирования единых отраслевых подходов. Россыпное золото — это часть национального ресурсного суверенитета, а Хабаровский форум — площадка, где создаются решения для его будущего.

На одной площадке собираются:

- ♦ представители россыпной отрасли всех регионов России
- ♦ государственные ведомства и регулирующие органы
 - ♦ производители оборудования и технологий
- ♦ геологоразведочные и добывающие компании
- ♦ научные центры, консалтинговые и инженерные организации

DVO.MINEXRUSSIA.RU

0+

