Қ.ҚҰЛАЖАНОВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ БИЗНЕС УНИВЕРСИТЕТІ

K.KULAZHANOV KAZAKH UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND BUSINESS

КАЗАХСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГИИ И БИЗНЕСА ИМЕНИ К.КУЛАЖАНОВА

KAZ UTB

№ 1 (32) - 2026

«Тау-кен және мұнай-газ ісі» журналы

The journal «Mining, Oil & Gas Engineering»

Журнал «Горное и нефтегазовое дело»



ISSN: 3136-7402 (Print)
ISSN: 3136-7410 (Online)

Астана - 2026

ISSN (Print) 3136-7402
ISSN (Online) 3136-7410

№ 1 (32) - 2026

«Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ

JSC «K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business»

АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова»

«Тау-кен және мұнай-газ ісі» журналы

The journal «Mining, Oil & Gas Engineering»

Журнал «Горное и нефтегазовое дело»

Жылына 4 рет шығарылады
Published 4 times a year
Выпускается периодичностью 4 раза в год

Астана - 2026
Astana - 2026

Бас редактор: Рысбеков Қанай Бахытович
техникалық ғылымдар кандидаты, профессор, Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ Тау-металлургия институтының директоры, Алматы қ., Қазақстан

Бас редактордың орынбасары: Зейнуллин Әбдікарим Әбжалелұлы
техника ғылымдарының докторы, профессор, «Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ, Астана, Қазақстан

Редакциялық алқа мүшелері:

Stephenson Randell Alexander — профессор, Абердин университеті, Абердин қ., Шотландия, Ұлыбритания
Dai Huayang — PhD, профессор, Қытай тау-кен технологиялық университеті, Бейжің қ., ҚХР
Jing Xiaofei — PhD, профессор, Чунцин ғылым және технологиялар университеті, Чунцин қ., ҚХР
Melih Genis — доктор, профессор, Бюлент Эджевит университеті, Зонгулдак қ., Түркия
Сдвижкова Елена Александровна — техника ғылымдарының докторы, профессор, «Днепр политехникасы» Ұлттық техникалық университеті, Днепропетровск қ., Украина
Бабий Екатерина Васильевна — техника ғылымдарының докторы, профессор, Украина ҰҒА корреспондент-мүшесі, Н.С. Поляков атындағы Геотехникалық механика институты, Днепропетровск қ., Украина
Эфендиев Галиб Мамед-оглы — техника ғылымдарының докторы, профессор, Әзербайжан Ұлттық ғылым академиясының Мұнай және газ институты, Баку қ., Әзербайжан
Буктуков Николай Садвокасович — техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Д. Қонаев атындағы Тау-кен ісі институты, Алматы қ., Қазақстан
Надиров Казим Садыкович — техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов атындағы ОҚЗУ КеАҚ, Шымкент қ., Қазақстан
Ғалиев Сеітқали Жолдасұлы — техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Д. Қонаев атындағы Тау-кен ісі институты, Алматы қ., Қазақстан
Молдабаева Гулнәз Жақсылыққызы — техника ғылымдарының докторы, профессор, Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Алматы қ., Қазақстан
Маусымбаева Әлия Думанқызы — PhD, қауымдастырылған профессор, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан
Барменшинова Мадина Богембайқызы — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, Алматы, Қазақстан
Жантасов Манап Курманбекович — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, М. Әуезов атындағы ОҚЗУ КеАҚ, Шымкент қ., Қазақстан
Даулетжанова Жанна Таумуратовна — PhD, қауымдастырылған профессор, «Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ, Астана, Қазақстан

Редакция өкілі: Әлиасқар Айжан Сәруарқызы — жауапты редактор, «Science Publishing Hub» жетекші маманы, «Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ, Астана, Қазақстан

Меншіктенуші: «Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ
Мерзімділігі: жылына 4 рет
ISSN: 3136-7402, **ISSN (Online):** 3136-7410
Тақырыптық бағыт: Тау-кен ісі, мұнай-газ ісі, геология, геомеханика, геофизика, ұңғымалық технологиялар, сандық қосарланған, декарбонизация, қауіпсіздік, экология, бұрғылау және өндіру және т.б. салалардағы ғылыми зерттеулер.
Редакцияның мекенжайы: Астана, Қайым Мұхамедханов көшесі, 37 А ғимараты, тел.: +7(7172)72-58-12 (134), e-mail: mogs@kaztbu.edu.kz

© «Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ

Главный редактор: Рысбеков Канай Бахытович
кандидат технических наук, профессор, директор Горно-металлургического института КазНИТУ им.К.Сатпаева, Алматы, Казахстан

Заместитель главного редактора: Зейнуллин Абдикарим Абжалелович
доктор технических наук, профессор, АО «Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова», Астана, Казахстан

Члены редакционной коллегии:

Рэделл Стивенсон — профессор, Абердинский университет, Абердин, Шотландия, Великобритания
Dai Huayang — PhD, профессор, Китайский горно-технологический университет, Пекин, КНР
Jing Xiaofei — PhD, профессор, Чунцинский университет науки и технологий, Чунцин, КНР
Melih Genis — доктор, профессор, Университет Бюлент Эджевит, Зонгулдак, Турция
Сдвижкова Елена Александровна — доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Днепропетровск, Украина
Бабий Екатерина Васильевна — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НА Украины, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины, Днепропетровск, Украина
Эфендиев Галиб Мамед-оглы — доктор технических наук, профессор, Институт нефти и газа Национальной Академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан
Буктуков Николай Садвокасович — доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт горного дела им. Д. Кунаева, Алматы, Казахстан
Надиров Казим Садыкович — доктор химических наук, профессор, НАО ЮКИУ им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан
Галиев Сейткали Жолдасович — доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт горного дела им. Д. Кунаева, Алматы, Казахстан
Молдабаева Гульназ Жаксылыковна — доктор технических наук, профессор, КазНИТУ им.К.Сатпаева, Алматы, Казахстан
Маусымбаева Алия Думановна — PhD, ассоциированный профессор, НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан
Барменшинова Мадина Богембаевна — кандидат технических наук, ассоциированный профессор, КазНИТУ им.К.Сатпаева, Алматы, Казахстан
Жантасов Манап Курманбекович — кандидат технических наук, профессор, НАО ЮКИУ им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан
Даулетжанова Жанна Таумуратовна — PhD, ассоциированный профессор, АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан

Представитель редакции: Әлиасқар Айжан Сәруарқызы — ответственный редактор, ведущий специалист «Science Publishing Hub», АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан

Собственник: АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова»
Периодичность: 4 раза в год
ISSN: 3136-7402, **ISSN (Online):** 3136-7410
Тематическая направленность: Научные исследования в области горного дела, нефтегазового дела, геологии, геомеханики, геофизики, скважинных технологий, цифровых двойников, декарбонизации, безопасности, экологии, бурения и добычи и т.д.
Адрес редакции: г. Астана, ул. Кайым Мухамедханова, здание 37 А, тел.: +7(7172)72-58-12 (134), e-mail: mogs@kaztbu.edu.kz

© АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова»

Editor-in-Chief: Rysbekov Kanay

Candidate of Technical Sciences, Professor, Director of the Mining and Metallurgical Institute named after K. Satbayev, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Deputy Editor-in-Chief: Zeinullin Abdikarim

Doctor of Technical Sciences, Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

Editorial Board members:

Stephenson Randell Alexander — Professor, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland, UK

Dai Huayang — PhD, Professor, China University of Mining and Technology, Beijing, PRC

Jing Xiaofei — PhD, Professor, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing, PRC

Melih Genis — Doctor, Professor, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey

Sdvizhkova Elena — Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine

Babii Ekaterina — Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Academy of Sciences of Ukraine, Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Efendiyev Galib Mamed-ogly — Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Oil and Gas of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Buktukov Nikolai — Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the NAS RK, D. Kunayev Institute of Mining, Almaty, Kazakhstan

Nadirov Kazim — Doctor of Chemical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

Galiyev Seitkali — Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the NAS RK, Head of the Mining Systemology Department, D. Kunayev Institute of Mining, Almaty, Kazakhstan

Moldabayeva Gulnaz — Doctor of Technical Sciences, Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Maussymbayeva Aliya — PhD, Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan

Barmenshinova Madina — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Zhantasov Manap — Candidate of Technical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

Dauletzhanova Zhanna — PhD, Associate Professor, Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

Editorial representative: Aizhan Aliaskar — editor, leading specialist of Science Publishing Hub, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business JSC, Astana, Kazakhstan

Owner: JSC «K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business»

Frequency: 4 times a year

ISSN: 3136-7402, **ISSN (Online):** 3136-7410

Thematic direction: Scientific research in the fields of mining engineering, oil and gas engineering, geology, geomechanics, geophysics, well technologies, digital twins, decarbonization, industrial safety, environmental protection, drilling, production, and related areas.

Address of edition: Astana, Kaiym Mukhamedkhanov street, building 37 A, тел.: +7(7172)72-58-12 (134), e-mail: mogs@kaztbu.edu.kz

© JSC «Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov»

СОДЕРЖАНИЕ

А.Т.Тұрғали, Қ.Ә.Қожахмет, Ф.М.Исатаева, А.Г.Гусманова
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОИСКОВАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖОСАБАЙ В КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ НА ЗОЛОТО И ПОПУТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ **7**

M.B. Turniyaz, T.S. Aisayeva, A.S. Hadiyeva, L.K. Nurshakhanova
COMPLEX THERMOGASOCHEMICAL EFFECT ON THE BOTTOM-HOLE ZONE OF THE RESERVOIR: MECHANISM, TECHNOLOGY AND RESULTS OF INDUSTRIAL APPLICATION (USING THE EXAMPLE OF WELL NO. 359 OF THE WEST KAZAKHSTAN FIELD) **19**

Л.М. Актаева, А.М. Рахметова, Э.А. Кульмагамбетова, Г.К. Алшынбекова, А.Т. Шилменова, Н.Т. Сагиндикова, А.Ш. Ташенов, А.Е. Еркінбекова
ЗИЯНДЫ ЖӘНЕ ҚАУІПТІ ӨНДІРІСТІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ТӘУЕКЕЛДЕРІН СӘЙКЕСТЕНДІРУДІҢ, БАҒАЛАУДЫҢ ЖӘНЕ БАСҚАРУДЫҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ **28**

D.A. Galiyev, A.V. Maldynova, M. Bainiyet, Kaz Emmanuel Audu
PILOT-SCALE EVALUATION OF AN INTELLIGENT SAFETY HELMET SYSTEM FOR RISK MANAGEMENT IN MINING ENTERPRISES **38**

R.A. Mussin, Zh.T. Dauletzhanova, N.M. Zamaliyev, D.R. Akhmatnurov, V.F.Demin
GEOMECHANICAL JUSTIFICATION OF THE STABILITY OF DEVELOPMENT WORKINGS UNDER FLOOR HEAVE CONDITIONS **49**

Kh. Yussupov, C. Drebenstedt, S. Myrzakhmetov, E. Aben, G. Abdissattar, N. Nazarbayeva
PROLONGING INTERREPAIR CYCLES OF IN-SITU LEACHING URANIUM WELLS USING A SPECIALIZED REAGENT **57**

Л.М. Актаева, А.Б. Бекмагамбетов, Л.И. Едильбаева, А.Ш. Ташенов, Н.Т. Сагиндикова
ӨНДЕУШІ ӨНЕРКӘСІП ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНІҢ ДЕНСАУЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНА ЗИЯНДЫ ӨНДІРІСТІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІ **67**

R.A. Mussin, Zh.T. Dauletzhanova, N.M. Zamaliyev, N.E. Issina
JUSTIFICATION OF THE INTEGRATED SUPPORT SCHEME FOR THE PORTAL OF AN INCLINED RAMP UNDER A COMBINED OPEN-PIT MINING SYSTEM **79**

A.B. Bekmagambetov, A.M. Rakhmetova, E.A. Kulmagambetova, G.K. Alshynbekova, I.E. Sarybayeva, A.Y. Yerkinbekova, R. Marcelloni
INTERNATIONAL APPROACHES TO OCCUPATIONAL RISK MANAGEMENT AND OCCUPATIONAL HEALTH PROTECTION IN THE MINING INDUSTRY **87**

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-20

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОИСКОВАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖОСАБАЙ В КАРАГАНДИНСКОЙ ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ НА ЗОЛОТО И ПОПУТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

А.Т.Тұрғали[1]✉, Қ.Ә.Қожахмет[1], Ф.М.Исатаева[2], А.Г.Гусманова[1]

[1] *Каспийский университет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан*
[2] *Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан*
✉ *Корреспондент-автор: aiman.tt@mail.ru*

В статье изучены материалы по геологическому строению, тектоническим и магматическим особенностям района исследований участка Жосабай, расположенного в Шетском районе Карагандинской области - одном из наиболее перспективных регионов Центрального Казахстана по золоторудной специализации. Центральный Казахстан является крупным металлогеническим районом, где широко развиты золото-серебряные и полиметаллические месторождения, связанные с проявлениями вулканогенно-гидротермальной активности и интрузивных процессов. Так целью исследования являлось изучение стратиграфии, интрузивных образований и разрывные нарушения участка Жосабай для последующего проведения поисково-оценочных работ на золото и сопутствующие компоненты. Проведённый анализ позволил уточнить особенности строения, состава и пространственного распределения рудных тел, связанных с золото-серебряным и полиметаллическим типами оруденения. Установлено, что формирование минерализации связано с многоэтапным магматизмом, развитием вторичных кварцитов и интенсивными гидротермально-метасоматическими процессами. Проанализированы результаты ранее выполненных разведочных работ, в ходе которых были подсчитаны запасы свинца и цинка, а также выявлены устойчивые содержания золота и серебра. Показано, что, несмотря на отнесение месторождения к резервным объектам в 1960-х гг., участок сохраняет значительный потенциал, обусловленный наличием остаточных и забалансовых запасов, а также возможностью выявления скрытых рудных тел в пределах тектонически активных зон. Обоснована целесообразность применения современных геолого-геофизических и геохимических методов для переоценки рудного потенциала Жосабайского участка и уточнения его металлогенической модели.

Полученные данные подтверждают перспективность участка Жосабай для проведения дальнейших поисково-оценочных и разведочных работ, направленных на уточнение контуров золото-серебряного оруденения и подсчёт прогнозных ресурсов благородных металлов. Результаты исследования могут быть использованы при дальнейшей разработке методических подходов к прогнозированию и оценке месторождения Жосабай в Карагандинской области Республики Казахстан.

Ключевые слова: золото-серебрянное орудинение, геологическое строение, тектоника, интрузивные образования, разрывные нарушения, прогнозные ресурсы.

ҚАРАҒАНДЫ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЖОСАБАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ ЖӘНЕ АЛТЫН МЕН ІЛЕСПЕ КОМПОНЕНТТЕРГЕ ІЗДЕУ-БАҒАЛАУ ЖҰМЫСТАРЫН ЖҮРГІЗУ МАҚСАТЫНДАҒЫ ІЗДЕНУ ДЕҢГЕЙІ

А.Т.Тұрғали[1]✉, Қ.Ә. Қожахмет[1], Ф.М. Исатаева[2], А.Г.Гусманова[1]

[1] *Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан*
[2] *Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан*
✉ *e-mail: aiman.tt@mail.ru*

Мақалада Қарағанды облысының Шет ауданында орналасқан Жосабай учаскесінің зерттеу аумағы бойынша геологиялық құрылысы, тектоникалық және магмалық ерекшеліктері жөніндегі материалдар қарастырылған. Аталған аумақ Орталық Қазақстанның алтын кендену мамандануы бойынша ең перспективалы өңірлерінің бірі болып табылады. Орталық Қазақстан - вулканогенді-гидротермалдық белсенділік пен интрузивтік үдерістермен байланысты алтын-күміс және полиметалдық кен орындары кең таралған

ірі металлогендік аймақ. Зерттеудің мақсаты - Жосабай учаскесінің стратиграфиясын, интрузивтік түзілімдерін және жарылымдық бұзылыстарын зерттеу негізінде алтын және ілеспе компоненттерге бағытталған іздеу-бағалау жұмыстарын жүргізуге алғышарт жасау. Жүргізілген талдау алтын-күміс және полиметалдық типтегі кенденумен байланысты кен денелерінің құрылысы, құрамы және кеңістіктік таралу ерекшеліктерін нақтылауға мүмкіндік берді. Минералданудың қалыптасуы көп кезеңді магматизммен, екіншілік кварциттердің дамуымен және қарқынды гидротермалдық-метасоматоздық үдерістермен байланысты екені анықталды. Бұрын жүргізілген барлау жұмыстарының нәтижелері талданып, олардың барысында қорғасын мен мырыш қоры есептелгені, сондай-ақ алтын мен күмістің тұрақты мөлшерлері анықталғаны көрсетілді. 1960-жылдары кен орны резервтік нысандар қатарына жатқызылғанына қарамастан, учаске қалдық және баланстан тыс қорлардың болуымен, сондай-ақ тектоникалық белсенді аймақтар шегінде жасырын кен денелерін анықтау мүмкіндігімен байланысты елеулі әлеуетін сақтап отырғаны дәлелденді. Жосабай учаскесінің кендік әлеуетін қайта бағалау және оның металлогендік моделін нақтылау үшін заманауи геологиялық-геофизикалық және геохимиялық әдістерді қолданудың мақсатқа сәйкестігі негізделді.

Алынған деректер Жосабай учаскесінің алтын-күміс кенденуінің контурларын нақтылау және асыл металдардың болжамдық ресурстарын есептеу мақсатында одан әрі іздеу-бағалау және барлау жұмыстарын жүргізуге перспективалы екенін растайды. Зерттеу нәтижелері Қарағанды облысы аумағындағы Жосабай кен орнын болжау мен бағалаудың әдістемелік тәсілдерін жетілдіруде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: алтын-күміс кеніші, геологиялық құрылым, тектоника, интрузиялық түзілімдер, жарылыс құрылымдары, болжамды ресурстар.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PROSPECTING EXPLORATION STATUS OF THE ZHOSABAY DEPOSIT IN THE KARAGANDA REGION FOR THE PURPOSE OF PROSPECTING AND EVALUATION WORK ON GOLD AND ASSOCIATED COMPONENTS

A.T.Turgali[1]✉, K.A. Kozhakhmet[1], F.M. Issatayeva[2], A.G. Gusmanova[1]

[1] Sh. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan
[2] Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan
✉ *e-mail: aiman.tt@mail.ru*

The article examines materials on the geological structure, tectonic setting, and magmatic features of the Zhosabay prospect area located in the Shet District of the Karaganda Region—one of the most promising regions of Central Kazakhstan in terms of gold mineralization. Central Kazakhstan is a major metallogenic province where gold-silver and polymetallic deposits are widely developed and are associated with manifestations of volcanogenic-hydrothermal activity and intrusive processes. The aim of the study was to investigate the stratigraphy, intrusive formations, and fault systems of the Zhosabay area in order to provide a basis for further prospecting and evaluation work for gold and associated components. The conducted analysis made it possible to clarify the structural features, composition, and spatial distribution of ore bodies related to gold-silver and polymetallic types of mineralization. It has been established that the formation of mineralization is associated with multi-stage magmatism, the development of secondary quartzites, and intensive hydrothermal-metasomatic processes. The results of previously conducted exploration works were analyzed, during which lead and zinc reserves were calculated, and consistent gold and silver contents were identified. It is shown that, despite the deposit being classified as a reserve object in the 1960s, the area retains significant potential due to the presence of residual and off-balance reserves, as well as the possibility of discovering concealed ore bodies within tectonically active zones. The feasibility of applying modern geological, geophysical, and geochemical methods for reassessing the ore potential of the Zhosabay area and refining its metallogenic model is substantiated.

The obtained data confirm the prospectivity of the Zhosabay area for further prospecting, evaluation, and exploration work aimed at refining the boundaries of gold-silver mineralization and estimating the forecast resources of precious metals. The results of the study may be used in the further development of methodological approaches to the forecasting and evaluation of the Zhosabay deposit in the Karaganda Region of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: gold-silver mineralization; geological structure; tectonics; intrusive formations; fracture structures; prospective resources.

Введение. Золото является одним из наиболее ценных и востребованных благородных металлов, играющим значительную роль в мировой экономике. Оно широко используется в ювелирной промышленности, электронике, медицине, а также служит надёжным инструментом инвестиций и финансовой стабильности. Благодаря высокой электропроводности, коррозионной стойкости и редкости золото относится к стратегическим видам минерального сырья, определяющим уровень технологического и экономического развития стран.

С геологической точки зрения золото встречается в различных типах месторождений — жильных, россыпных и комплексных. Изучение закономерностей его размещения, форм нахождения и условий образования имеет важное значение для повышения эффективности геологоразведочных работ.

Исследование золотоносности на участке Жосабай в Карагандинской области представляет собой актуальное направление, позволяющее уточнить перспективы минерально-сырьевой базы региона. Полученные данные могут стать основой для дальнейших поисково-оценочных и разведочных работ, а также способствовать развитию горнодобывающей отрасли Казахстана.

Пространственно-поисковая площадь расположена в Шетском районе Карагандинской области Республики Казахстан. Площадь работ составляет 5,2 км^2 Рассматриваемая площадь перспективна, но не получила окончательной оценки из-за недостаточного количества поисково-оценочных работ для формирования промышленных запасов золота и попутных компонентов.

В связи с этим целью данной статьи является исследования геологической и поисковой характеристики участка Жосабай в Карагандинской области Республики Казахстан, с целью определения перспектив дальнейших поисково-оценочных и разведочных работ на благородные металлы.

Для достижения данной цели были определены задачи:

1. Оценка геологической изученности участка Жосабай и определение геолого-структурной и минералого-геохимической особенности золото-серебряного оруденения.
2. Выявление закономерности интрузивных образований и разрывных нарушений для оценки их роли в рудоностности и тектоническом строении участка Жосабай.
3. Обзор исторических исследований и картографических материалов, связанных с изучением участка.
4. Анализ результатов поисково-оценочных работ, направленных на выявление медных руд и сопутствующих компонентов.
5. Определение перспективности участка для дальнейших поисково-оценочных и разведочных работ на золото и сопутствующие металл.

Научная новизна работы заключается в комплексном изучении золотоносности участка Жосабай, позволившем уточнить морфологию и минералогический состав золото-серебряных рудных тел и выявить закономерности их пространственного размещения.

Материалы и методы. Наиболее богатым регионом по залежам полезных ископаемых Казахстана является Центральный Казахстан, в свою очередь регион признан важной минерально-сырьевой базой Республики. В этом регионе сосредоточены крупные месторождения меди, золота, железных и марганцевых руд, полиметаллов, угля, а также редких и благородных металлов. Центральный Казахстан связан с разнообразными геологическими структурами и типами рудных тел, что обеспечивает его промышленную перспективу и потенциал для открытости.

Золото Центрального Казахстана приурочено к зонам тектонических разломов, метасоматически изменчивым породам вулканогенно-осадочных и интрузивных комплексов, а также к вторичным кварцитам. [1, 2]. В свою очередь среднее содержание золота в рудах варьируется от 1–3 г/т (низкосортные руды) до 10–20 г/т и выше богатых зон минерализации [1, 3].

При этом основные типы рудения считаются жилые, золото-сульфидные, золото-полиметаллические, часто ассоциированные с кварцевыми жилами и зонами окварцевания [4, 5].

В связи с этим Центральный Казахстан обладает потенциалом для открытия новых месторождений, особенно в зонах вторичных кварцитов и тектонических разломов [6]. Современные геолого-геофизические методы позволяют выявить скрытые рудные тела и уточнить критерии поиска [7, 8].

Таким образом можно заявить, что Центральный Казахстан - один из основных центров золотодобычи страны, характеризующийся сложным геологическим строение и разнообразием типов. В числе многочисленных золоторудных объектов Центрального Казахстана особый интерес представляет месторождение Жосабай, который отличается сложным стро-

ением, многоэтапностью рудообразования и разнообразием типов минерализации, что отражает высокий уровень металлогенической специализации и промышленную значимость региона [9].

Геологическое строение месторождения Жосабай приводится по материалам кондиционной геологической съемки масштаба 1:50 000 (Скублов и др., 1968 г.) [10]. В структурном плане описываемый район размещается в Западной части Токрауского синклинория, сложенного позднегерцинскими вулканогенными образованиями, в зоне сочленения его с Жаман-Сарысуйским антиклинорием, сложенным раннегерцинскими осадочными породами (рисунок 1).

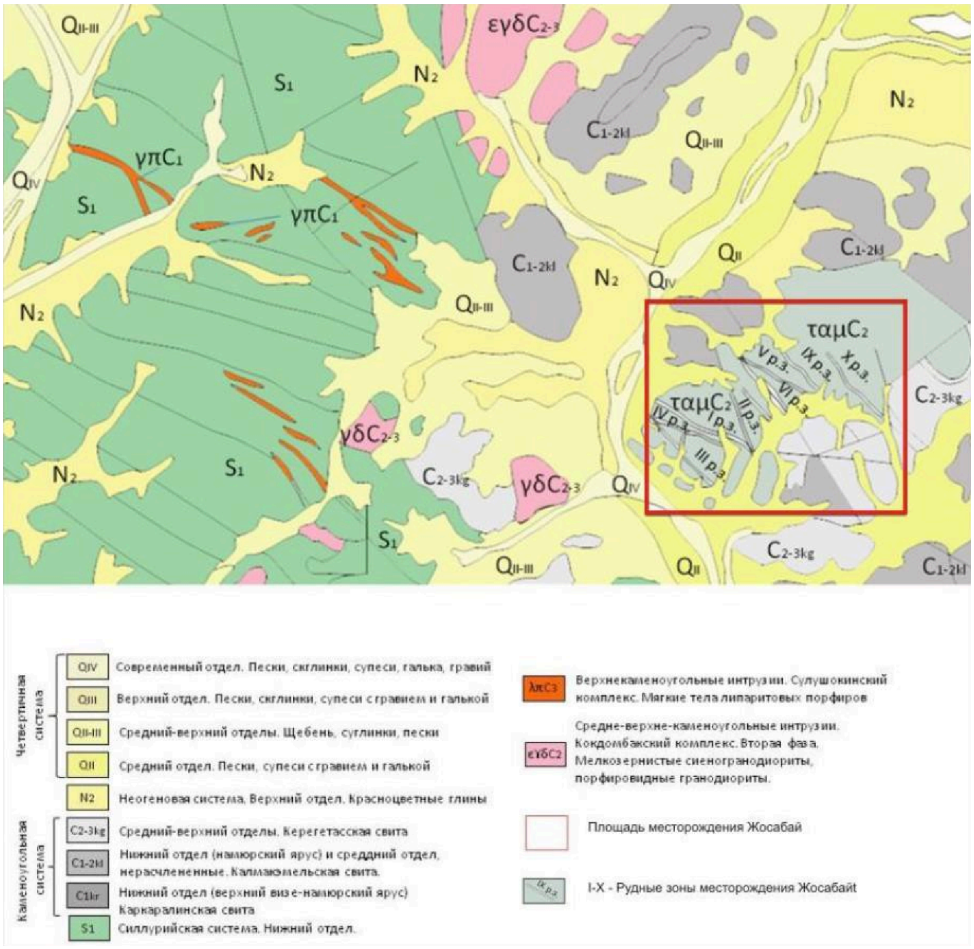


Рис. 1 - Геологическая карта района месторождения Жосабай

Палеозойская группа. Нижнесилурийские алевролит-песчаниковые отложения развиты в северо-западной части района, слагая Толагайскую антиклиналь. Представлены они мелкозернистыми и тонкозернистыми серо-зелеными, реже лиловыми алевролитами и аргиллитами с прослоями известковистых песчаников, алевритов и линзами известняков с фауной брахиопод и трилобитов, на основании которых определен нижнесилурийский возраст этой толщи. Мощность нижнесилурийских отложений составляет около 2000 м.

Каменноугольная система. Нижний отдел представлен Каркаралинской свитой (C1 kr) - верхний подъярус визейского яруса и намюрский ярус. Вулканогенные образования этой свиты обнажаются в северо-восточном углу и западной половине описываемой территории, где они залегают непосредственно на нижнесилурийских песчано-сланцевых отложениях.

Для рассматриваемых образований в целом характерен пестрый состав пород и широкое развитие вулканогенно-осадочных пачек. Как правило, в низах разреза заметно преобладают туффиты, туфопесчаники и липарито-дацитовые туфы, выше сменявшиеся черно-зелеными мелкопорфировыми андезитами и андезито-базальтами, выше которых залегают андезито-дацитовые и дацитовые крупно и среднеобломочные туфы. Верхняя часть разреза сложена дацитовыми слоистыми туффитами, реже туфопесчаниками, а также буровато-серыми липатрито-дацитовыми и желтоватыми, светлосерыми липаритовыми кристаллокластическими туфами. Возрастное определение этой толщи определено на основании структурно-литологического анализа и сопоставле-

ния с фаунитически охарактеризованными образованиями соседних районов. Мощность пород каркаралинской свиты составляет 500-600 м.

Нижний и средний отдел представлены Калмакэмельской свитой (C1-2 kl) - намюрский ярус и средний отдел. Калмакэмельские вулканогенные образования имеют весьма широкое распространение по всей территории. Они характеризуются сравнительно однообразным составом вмещающих пород: это андезиты, андезито-дациты, реже дациты с единичными прослоями туфов и туффитов. В юго-западной части свита представлена андезито-дацитовыми туфами, переслаивающимися с дацитовыми туфами и игнгимбритами.

Калмакэмельские образования залегают на вулканогенно-осадочных породах каркаралинской свиты имея с последними согласный стратиграфический контракт. Возраст образований определен на основании структурно-литологических сопоставлений. Мощность калмакэмельской свиты 400-900 м.

При этом средний и верхний отделы характеризуются:

Керегетасская свита. Вулканогенные образования этого возраста развиты столь же широко, как и калмакэмельские вулканиты. В разрезе керегетасской свиты отчетливо выделяются две толщи: нижняя – туфоигнимбритовая, и верхняя – игнибритовая.

Нижняя подсвита (C2-3 kg1). Породы этой подсвиты, как правило, несогласно залегают на калмакэмельских, реже каргалинских образованиях. Для этой подсвиты характерна резкая фациальная изменчивость разреза и вместе с тем наличие маркирующей толщи серо-зеленых дацитовых агломератовых игнимбритов с горизонтами андезито-дацитовых туфов и липаритовыми игнимбритами, серо-зелеными и бурыми дацитовыми туффитами, туфоалевролитами и грязно-серыми липарито-дацитовыми кристаллотуфами. Общая мощность пород нижней подсвиты керегатской свиты составляет 300-700 м.

Верхняя подсвита (C2-3 kg2). Образования верхней подсвиты пользуется локальным развитием и обнажаются лишь в юго-восточной части территории. Игнимбриты верхней подсвиты залегают на породах нижней подсвиты, реже на калмакэмельских вулканитах. В разрезе верхней подсвиты преобладают сиреневые, лиловые и розовато-бурые липаритовые игнибриты, которым подчинены горизонты липаритовых туфов, липарито-дацитовых лав, игнимбритов, слоистых туфопесчаников и туффитов. Мощность пород верхней подсвиты 250-600 м.

Возраст вышеописанных отложений определен как средневерхнекаменноугольный на основании литологического сходства их с широко развитыми в Токрауской впадине вулканогенными образованиями керегетасской свиты составляет 600-1300 м.

Верхний отдел представлен Сулушокинской подсвитой (C3 sl). Породы этой свиты незничительно, обнажаясь отдельными выходами южнее г. Жосалы. Сулушокинская свита сложена светло-сиреневыми, розовато-бурыми, желтовато-серыми и белыми флюидальными и сферолитовыми лавами базокварцевых липаритов с турбулентной флюидальностью с горизонтом слоистых туфов, туфопесчаников и туфогравеллитов в основании. Липариты сулушокинской свиты несогласно налегают на породы калмакэмельской и керегетасской свит. Сулушокинская свита выделена впервые как самостоятельная единица в процессе геолого-съемочных работ масштаба 1:50 000 на основании геолого-структурных, петрографических, петрохимических, геохимических и радиогеологических данных, определивших вышеописанные породы как единую толщу, залегающую на границе керегетасской и архангельской свит. Мощность свиты 190 – 270 м.

Кайнозойская группа. Неогеновая и четвертичная системы (нерасчленённые) представлены рыхлыми отложениями, широко развитыми в пределах долин р. Карасай и её притоков. Данные образования залегают несогласно на более древних палеозойских вулканогенно-осадочных толщах. В их составе преобладают зеленоцветные, пестроцветные и красноцветные глины, а также аллювиальные, аллювиально-пролювиальные и пролювиально-делювиальные конгломераты, галечники, пески, супеси и суглинки. Отложения имеют преимущественно континентальный генезис и формировались в условиях аккумуляции в речных долинах и у подножий склонов. Суммарная мощность неоген-четвертичных образований достигает 50–70 м.

Интрузивные образования пользуются довольно широким развитием в районе. Среди них выделяются жерловые образования калмакэмельской, керегетасской и сулушокинской свит, интрузивные образования каркаралинского, калмакэмельского, кокдомбакского, сулушокинского и жаксытагалинского архарлинского комплексов.

Каркаралинский комплекс (γπ C1). Гранит-порфиры каркаралинского комплекса развиты весьма ограничено; выходы их известны лишь в северо-западной части территории, где они слагают вертикальные и крутопадающие дайки и дайкообразные

тела, вытянутые в северо-западном направлении согласно простиранию вмещающих силурийских песчаников и алевролитов. Мощность даек от 3 до 20 м., протяженность первые сотни метров. Сложены они светлыми, грязновато-серыми до белых гранит-порфирами, содержащими 10–15 % порфировых выделений кварца и полевых шпатов размером около 2 мм.

Жаксытагалинский комплекс (γπP1). Гранит-порфиры этого комплекса участвуют в строении кольцевых и линейных структур, слагая протяженные (до первых км) кольцевые и линейные дайки мощностью от 0,5 до 50 м, реже до 100–200 м. Падение их преимущественно крутое до вертикального. Гранит-порфиры, слагающие дайки, — это обычно розовые до красноватых редкопорфировые породы с массивной текстурой. Количество вкрапленников варьирует от 3 до 20 %. Вкрапленники представлены плагиоклазом (3–15%), кварцем (2–9%), калишпатом (2-7%). Основная масса имеет микрогипидиоморфную, апосферолитовую структуру и состоит из зерен кварца (30–35%), калишпата, альбита, хлоритизированного биотита (1–4%).

Возраст даек определяется по пересечению ими самых молодых вулканитов района (в районе г. Сулушокы, на соседнем листе они пересекают вулканиты архарлинской свиты).

При этом вторичные кварциты пользуются весьма широким развитием в разделах описываемой территории и представлены тремя наиболее крупными массивами: Жосалы, Айдагарлы, Уштаган, которые резко выделяются в рельефе и имеют неправильную в плане форму, в общем вытягиваясь в широтном направлении. Вторичному окварцеванию подвержены различные по составу породы. Среди вторичных кварцитов выделяются монокварциты и кварц-серицитовая фация, на карте дополнительным знаком показаны участки развития диаспора, алунита и андалузита. Монокварциты, содержащие свыше 90% вторичного кварца, и серицит-кварцевые вторичные кварциты (70-90% кварца и 10-30% серицита) обычно выделяются в рельефе положительными формами. Разности кварцитов с алунитом, андалузитом и диаспором отмечаются в основном в массиве Уштаган, Жосалы.

Тектоника. Рассматриваемая территория расположена в северо-западной части верхнепалеозойской Токрауской впадины, в зоне сочленения ее со среднепалеозойским Жаман-Сарысуйским антиклинорием.

По геолого-структурным особенностям залегания пород можно выделить следующие структурные подразделения: нижнесилурийский структурный ярус, верхнепалеозойский структурный ярус и кайнозойский структурный ярус.

Нижнесилурийский структурный ярус. Этот структурный ярус включает в себя нижнесилурийские песчаники и алевролиты, слагающие Толагайскую антиклиналь. Породы имеют северо-западное 300-310° простирание и крутое падение на северо-восток и юго-запад под углами 60-80°.

Верхнепалеозойский структурный ярус. К этому структурному ярусу отнесены вулканогенные породы каркаралинской, калмакэмельской, керегетасской и сулушокинской свит и все известные в районе интрузивные образования. По характеру залегания вулканитов, по взаимоотношениям вулканогенных свит и особенностям распределения в этих породах комагматичных интрузивных образований верхнекайнозойский ярус может быть разделен на подъярусы: нижнее-среднекаменноугольный (каркаралинская, калмакэмельская свиты их жерловые образования, каркаралинский и калмакэмельский комплексы); средне-верхнекаменноугольный (образование керегетасской свиты, их жерловые фации, интрузии кокдомбакского комплекса); верхнекаменноугольно-пермский (образование сулушокинской свиты, их жерловые фации, интрузии сулушокинского жаксытагалинского комплексов).

Разрывные нарушения. Описываемая территория разбита густой сетью разрывных нарушений, среди которых выделяются региональные разломы типа сбросов и сбросо-сдвигов с амплитудами смещения более 1 км, более мелкие разрывные нарушения с амплитудами смещения в первые сотни метров и малоамплитудные разломы со смещением первые десятки метров. Большая часть разрывных нарушений была подновлена в постнижнепермское время, после завершения магматической деятельности среди этих разломов пермьтриасового возраста исключительно широко развиты сбросо-сдвиги и сдвиги северо-западного простирания, по которым обычно наблюдаются смещения по правилу правого сдвига. Среди них наблюдаются наиболее крупные: Жосабайский сдвиг и Акбулак-Карасайская зона разломов с более мелкими оперяющими малоамплитудными разломами.

Акбулак-Карасайская зона разломов, заложенная в средне-верхнекаменноугольное время, прослеживается на расстоянии более 30 км в северо-западном и близмеридионально направлениях при ширине до

20 км и представлена серией ветвящихся крупных сбросов и сбросо-сдвигов, амплитуда горизонтального смещения по наиболее крупного из них достигает 0,3–1 км.

Жосабайский сдвиг относится к категории региональных разломов, прослеживающихся на десятки километров. Амплитуда смещения его (2 км) устанавливается по кольцевой дайке нижнепермских гранит-порфитов. От Жосабайского сдвига отходит серия мелких диагональных сбросов и сбросо-сдвигов с горизонтальной составляющей первые сотни – десятки метров.

К северо-западному борту Жосабайского сдвига приурочено золото-серебряное месторождение, свинцово-цинковое месторождение Жосабай, рудоносные кварцево-жильные зоны которого контролируются оперяющими трещинами этого сдвига.

Обсуждение и результаты. Приведённые материалы по геологическому строению, магматизму и тектонике района свидетельствуют о высокой степени его металлогенической специализации и благоприятных условиях для формирования рудных месторождений различного генезиса. Сочетание мощных вулканогенно-осадочных толщ каменноугольного возраста, многофазного кислого магматизма, широко развитых интрузивных и жерловых образований, а также интенсивной разломной тектоники создало предпосылки для концентрации и перераспределения рудного вещества.

Особую роль в рудогенезе играют региональные и локальные разрывные нарушения, прежде всего Жосабайский сдвиг и Акбулак–Карасайская зона разломов, которые являлись каналами для восходящих гидротермальных растворов и контролировали размещение рудоносных кварцево-жильных зон. Широкое развитие вторичных кварцитов, зон окварцевания и метасоматически изменённых пород также указывает на интенсивные гидротермальные процессы, тесно связанные с формированием золото-серебряной и полиметаллической минерализации.

Таким образом, Жосабай представляет собой характерный пример золоторудного объекта Центрального Казахстана, приуроченного к зоне тектонического нарушения и осложнённого многоэтапным магматизмом, и метасоматозом. Именно выявленные геолого-структурные и литолого-петрографические особенности послужили основанием для проведения здесь первых поисковых и оценочных работ, направленных на установление промышленной значимости золотоносных зон и уточнение масштабов рудной минерализации.

В свою очередь месторождение как полиметаллическое, известно с позапрошлого века и разрабатывалось промышленником Поповым, однако литературных данных об этом не сохранилось.

Впервые о месторождении упоминается в работах Г.А. Падалко (1920-1923 гг.), И.С. Яговкина, М.И. Ваганова и М.П. Русакова (1927-1929 гг.) [11], давшим геолого-петрографическую характеристику района. Более подробно оно освещено в работах И.И. Чурилиной (1950 г.), Н.Н. Великой (1950-1952 г.г.), В.В Лебедева (1951-1952 гг.) [12].

В 1953 году Байназарской партией АГФЭ на территории месторождения были выявлены богатые ореолы свинца (0,01-10%), цинка и меди (0,07-0,5%), которые в 1954-56 годах были вскрыты рядом магистральных канав Кузюкадырской партией Каргеолуправления. Положительные результаты по этим работам стали обоснованием для постановки на месторождении детальных разведочных работ.

Разведочные работы на полиметаллы проводились в 1956-1959 г.г. Джусабайской ГРП АГРЭ [12]. На месторождении пройден большой объем канав 3270 м3, скважин 13377 п.м., пройдена шахта глубиной 31 м с системой горизонтальных выработок общей протяженностью 336 п.м. В результате этих работ было выделено семь рудных зон, прослеженных скважинами до глубины 200 м, и произведен подсчет запасов свинца и цинка.

Запасы категории С1 были подсчитаны по I, II, IV и IX рудным зонам (разведочная сеть 80-100х60).

Граница окисленных и сульфидных руд была определена визуально и по данным представленного рационального анализа (определение окисленного свинца) по скважинам и подземным горным выработкам. Так, она проходила в отдельных местах на поверхности, в других – образовала карманы глубиной до 80 м за счет повышенной трещиноватости на этих участках. В целом граница зоны окисления повторила рельеф и в среднем проходила на глубине 30–35 м.

В таблице 1 приводятся результаты подсчета запасов по месторождению Жосабай по состоянию на 01.01.1960 г., которые протоколом № 358б от 08.12.1960 г. [12] технического совещания при главном инженере Центрально-Казахстанского геологического управления были приняты к сведению.

По данным анализов групповых проб наряду с основными компонентами установлены кадмий, золото, серебро. В окисленных рудах кадмий содержался от 0,0 до 0,24%, в среднем 0,01–0,02%; золото 0,0 – 3,2 [in Russian]г/т, обычно 0,6–1,2 г/т, серебро от 0,0

до 200 г/т, обычно 20 - 50 г/т. В сульфидных рудах содержание кадмия 0,0–0,85 % обычно 0,01–0,08 %, золото 0–5,2, обычно 0,0,4–0,8/т, серебро 0,0 – 500 г/т, обычно 20 – 40 г/т.

В заключение следует отметить, что, несмотря на наличие как балансовых, так и значительных забалансовых запасов сульфидных и окисленных руд, месторождение Жосабай по состоянию на 01.01.1960 г. было отнесено к разряду резервных объектов. Такое решение обусловлено сравнительно небольшими суммарными запасами руды и металлов, а также умеренными средними содержаниями свинца и цинка, которые уступают показателям ряда крупных полиметаллических месторождений Центрального Казахстана, находившихся в тот период в промышленной эксплуатации.

Таблица 1 - Результаты подсчета запасов

	Запасы руды в т.т.	**Запасы металла и его содержание**	
		Свинец, т.т./%	**Цинк, т.т./%**
Балансовые сульфидные руды			
С1	1837,7	54,44/2,96	62,73/3,41
С2	334,6	9,1/2,72	12/3,61
С1+С2	2172,3	63,45/2,92	74,73/3,44
Забалансовые сульфидные руды			
С1	1109,6	14,17/1,28	17,08/1,54
С2	1811,2	34,99/1,93	41,03/2,25
С1+С2	2920,8	49,16/1,68	58,11/1,98
Забалансовые окисленные руды			
С1	1274,8	30,97/2,43	-

При этом анализ химического состава руд показал, что содержание основных компонентов в балансовых сульфидных рудах характеризуется относительно стабильными, но невысокими значениями (среднее содержание свинца около 2,9 % и цинка около 3,4 %), тогда как значительная часть запасов сосредоточена в забалансовых рудах с пониженным содержанием металлов. Наличие окисленных руд с относительно высоким содержанием свинца также не компенсировало ограниченность промышленных запасов вследствие отсутствия цинка и сложности их переработки.

В свою очередь в пользу перспективности месторождения послужили результаты опробования на золото, выполненные в 1961 году геологом В. Н. Лариным. По данным аналитических исследований, в ряде групповых проб были зафиксированы значительные содержания золота, достигающие 6,8 г/т, в ассоциации с повышенными содержаниями серебра - до 116,2 г/т. Важной особенностью является практически повсеместное присутствие золота почти во всех проанализированных групповых пробах, что указывает на устойчивый характер благороднометалльной минерализации.

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что месторождение Жосабай представляет интерес не только как ранее известный полиметаллический объект, но и как перспективный объект для выявления промышленной золото-серебряной минерализации. Это обстоятельство существенно расширяет металлогеническую специализацию месторождения и обосновывает целесообразность проведения специализированных поисково-оценочных работ, ориентированных на благородные металлы.

Полученные в ходе поисковых работ результаты послужили основанием для постановки оценочных и разведочных работ на наиболее перспективных рудных зонах месторождения Жосабай, а также утверждены запасы золота и серебра категорий С1 и С2 по рудной зоне III.

В последующие годы месторождение находилось в опытно-промышленной и промышленной эксплуатации Акчатауским ГОКом (1972–1975 и 1994 гг.). Начиная с 2004 г. геологическое изучение участка осуществляет ТОО «Нурдаулет», которым в 2007 г. выполнена предварительная геолого-экономическая оценка запасов, а в 2011 г. - технико-экономическое обоснование промышленных кондиций.

Полученные результаты по месторождению Жосабай целесообразно рассматривать в сопоставлении с ранее изученными золото-полиметаллическими объектами Центрального Казахстана, прежде

всего с месторождением Абыз, которое является одним из наиболее полно исследованных представителей колчеданного оруденения энсиматических островных дуг Казахстана [13].

Исследования месторождения Абыз показали, что формирование рудной минерализации происходило в условиях поздней стадии развития энсиматической островной дуги и сопровождалось интенсивной гидротермально-метасоматической переработкой вулканогенно-осадочных комплексов. Основными рудоконтролирующими факторами являлись длительно развивавшиеся разломные структуры, пропилитизация и последующая березитизация, сопровождавшиеся образованием серицит-кварцевых метасоматитов и массивных сульфидных руд. Золото локализовано преимущественно на поздней низкотемпературной стадии минералообразования и пространственно ассоциирует с теллуридами свинца и висмута.

Геологическое строение месторождения Жосабай демонстрирует ряд принципиально сходных признаков. Рудное поле также сформировано в пределах мощной вулканогенно-осадочной толщи, представленной андезитами, андезито-дацитами, дацитами, туфами и игнимбритами каменноугольного возраста, прорванными многочисленными интрузивными телами кислого состава. Подобное сочетание вулканизма и многофазного магматизма является характерной особенностью металлогенических систем Центрального Казахстана и свидетельствует о длительной магматической эволюции региона.

Вместе с тем между рассматриваемыми объектами прослеживаются существенные различия, обусловленные особенностями рудообразующих систем. Если для месторождения Абыз характерно преобладание массивного колчеданного Au–Cu–Pb–Zn-оруденения, сформированного в результате многостадийных гидротермально-метасоматических процессов, то на участке Жосабай ведущую роль играет золото-серебряная минерализация, локализованная в кварцево-жильных и окварцованных зонах, пространственно связанных с региональными сдвиговыми нарушениями. Широкое развитие вторичных кварцитов, серицитизированных пород и многочисленных кварцевых жил свидетельствует о значительной роли гидротермальных процессов в перераспределении рудного вещества. При этом установленные содержания золота до 6,8 г/т и серебра до 116,2 г/т позволяют рассматривать благороднометалльную минерализацию как самостоятельный промышленно значимый объект, а не исключительно сопутствующий компонент полиметаллических руд.

Сравнение геолого-структурных особенностей двух месторождений позволяет выделить ряд общих поисковых критериев, характерных для рудных систем Центрального Казахстана. К ним относятся приуроченность оруденения к крупным долгоживущим разломным структурам, пространственная связь с вулканогенно-осадочными толщами и интрузивными образованиями кислого состава, широкое развитие гидротермально изменённых пород, прежде всего зон окварцевания и серицитизации, а также комплексный характер минерализации с присутствием благородных и цветных металлов. Установленные закономерности свидетельствуют о высокой перспективности участка Жосабай для дальнейших поисково-разведочных работ и позволяют использовать месторождение Абыз в качестве регионального геолого-генетического аналога при разработке прогнозно-поисковой модели золото-серебряного оруденения Центрального Казахстана.

Выводы. Таким образом, в результате изучения геологического строения, интрузивных образований и тектоники месторождения Жосабай, а также анализа исторических данных можно сделать следующие выводы: несмотря на длительную историю изучения и частичную отработку, месторождение сохраняет значительный нереализованный потенциал, связанный с наличием остаточных и забалансовых запасов золото-серебряных и полиметаллических руд, а также с возможностью выявления скрытых рудных тел в пределах тектонически активных зон и под покровом кайнозойских отложений.

Ранее выполненные поисковые, разведочные и оценочные работы проводились в рамках методических и технологических возможностей своего времени, что ограничивало полноту выявления закономерностей размещения благороднометалльной минерализации. В настоящее время развитие современных геолого-геофизических, геохимических и цифровых методов интерпретации позволяет по-новому оценить рудный потенциал месторождения, уточнить его металлогеническую модель и повысить достоверность прогноза рудоносности.

В свою очередь устойчивый спрос на золото и серебро как стратегически важных металлов является важным составляющим фактором недропользования с учетом вовлечения в разработку ранее изученных, но не полностью реализованных объектов. В этом контексте месторождение Жосабай представляет собой показательный объект для разработки на-

учно обоснованных критериев переоценки запасов и совершенствования подходов к изучению сложно построенных золото-серебряных месторождений Центрального Казахстана.

Для дальнейшей оценки перспективности участка планируется проведение комплекса поисково-оценочных работ, включающих анализ и обобщение имеющихся геологических материалов по изучаемой территории. На следующем этапе предусмотрено проведение площадных геофизических исследований – магниторазведка площадная, масштаб 1:10000 (контроль 3%); электроразведка ВП - СГ, 200 х 20, глубина изучения 200 – 300 м; профильная электроразведка ЗСБ (МПП), 100 х 50 с шагом 100 м (при детализации 50 м), глубина изучения 500 м. Программой предусмотрено обязательное выполнение горных и буровых работ по сети 400×400 м с последующим сгущением до 200 м, что позволит оценить распространение золотого оруденения на глубину до 500 м.

Будет осуществлён отбор технологических проб и проведение комплексных аналитических исследований для определения содержания золота и сопутствующих компонентов. Реализация указанных мероприятий позволит перейти к подсчёту запасов и прогнозных ресурсов для золотого оруденения и сопутствующих полезных компонентов.

Литература

1. Seitmuratova E.Y, et al. The Current State of Research on Secondary Quartzites of the Northern Segment of the Jungar-Balkhash Folded System and Their Au Mineralization (Central Kazakhstan)// Minerals. −2023. Vol.13 (16): 813. DOI 10.3390/min13060813.
2. Heinhorst J., et al. Paleozoic crustal growth and metallogeny of Central Asia: evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of Central Kazakhstan// Tectonophysics. 2000. -Vol. 328 (1-2). –P.69-87. DOI 10.1016/S0040-1951(00)00178-5.
3. Toktar G., et al. Increase recovery of free fine gold in the leaching process// Complex Use of Mineral Resources. - 2022. -Vol. 322(3). -P. 51-58. DOI 10.31643/2022/6445.28.
4. Gaskov I.V., et al. Chronology of Alkaline Magmatism and Gold Mineralization in the Central Aldan Ore District (Southern Yakutia)// Russian Geology and Geophysics. - 2023. -Vol. 64 (2).- P.175-191. DOI 10.2113/rgg20214427.
5. Греку Е. и др. Минералогические и геохимические особенности и золотоносность пирита и арсенопирита золоторудного месторождения Южные Ашалы (Восточный Казахстан) // Руды и металлы. - 2025. - № 4. - С.5-36 DOI 10.47765/0869-5997-2024-10016.
6. Seitmuratova E.Yu., et al. To study the ring structures of central and southern kazakhstan and their ore content // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. −2023. -Vol. 4(459). -P. 262-281. DOI 10.32014/2023.2518-170x.441.
7. Калинин Ю. и др. Возрастные рубежи и металлогеническое прогнозирование золоторудных месторождений Акжал-Боко-Ашалинской рудной зоны (Алтайская аккреционно-коллизионная система) // Геодинамика и тектонофизика. - 2021. -Т. 12(2). -С. 392-408. DOI 10.5800/gt-2021-12-2-0530.
8. Мизерная М. и др. Моделирование магматогенных рудных систем золоторудных месторождений Восточного Казахстана. // Вестник Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Геологія родовищ корисних копалин. −2020. −4 (91). -С. 49-55. DOI 10.17721/1728-2713.91.07.
9. Yessendossova A.T., Mykhailov V.A., Maussymbayeva A., Portnov V., Mynbaev M. Features of the geological structure and polymetallic mineralization of the Uspensky (Central Kazakhstan) and Dalnegorsky (Far East) ore districts//Iraqi Geological Journal. −2023. -Vol.56 (2F). P.44-60. DOI 10.46717/igj.56.2F.3ms-2023-12-9.
10. Жуковский и др. История геологических исследований в Центральном Казахстане// Караганда: Магжан. - 2019. −637 с.
11. Русаков М.П., Яговкин И.С., Ваганов М.И. Успенско-Спасский район в Сев.-Вост. Казахстане и его минеральные ресурсы / Труды всесоюзного Геолого-Разведочного Объединения НКТП СССР. Вып. 236. - Ленинград; Москва: НКТП: Гос. научно-техническое геолог-разведочное изд-во. −1933. 111 с.
12. Сидоренко А. В. и др. Геология СССР. Центральный Казахстан, Геологическое описание. Том 20. Книга 1./Недра. −1972. −532 с.
13. Мазуров А.К. и др. Колчеданные месторождения энсиматических островных дуг Казахстана на примере месторождения Абыз. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. −2020. Т.331(4). -С. 28–37. DOI 10.18799/24131830/2020/4/2591.

References

1. Seitmuratova E.Y, et al. The Current State of Research on Secondary Quartzites of the Northern Segment of the Jungar-Balkhash Folded System and Their Au Mineralization (Central Kazakhstan)// Minerals. −2023. Vol.13 (16): 813. DOI 10.3390/min13060813.
2. Heinhorst J., et al. Paleozoic crustal growth and metallogeny of Central Asia: evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of Central Kazakhstan// Tectonophysics. 2000. -Vol. 328 (1-2). –P.69-87. DOI 10.1016/S0040-1951(00)00178-5.
3. Toktar G., et al. Increase recovery of free fine gold in the leaching process// Complex Use of Mineral Resources. - 2022. -Vol. 322(3). -P. 51-58. DOI 10.31643/2022/6445.28.
4. Gaskov I.V., et al. Chronology of Alkaline Magmatism and Gold Mineralization in the Central Aldan Ore District (Southern Yakutia)// Russian Geology and Geophysics. - 2023. -Vol. 64 (2).- P.175-191. DOI 10.2113/rgg20214427
5. Greku E. i dr. Mineralogicheskie i geohimicheskie osobennosti i zolotonosnost' pirita i arsenopirita zolotorudnogo mestorozhdenija Juzhnye Ashaly (Vostochnyj Kazahstan) // Rudy i metally. - 2025. - № C.5-36 DOI 10.47765/0869-5997-2024-10016. [in Russian]
6. Seitmuratova E.Yu., et al. To study the ring structures of central and southern kazakhstan and their ore content // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. −2023. -Vol. 4(459). -P. 262-281. DOI 10.32014/2023.2518-170x.441. [in Russian]
7. Kalinin Ju. I dr. Vozrastnye rubezhi i metallogenicheskoe prognozirovanie zolotorudnyh mestorozhdenij Akzhal-Boko-Ashalinskoj rudnoj zony (Altajskaja akkrecionno-kollizionnaja sistema) // Geodinamika i tektonofizika. - 2021. -T. 12(2). -S. 392-408. DOI 10.5800/gt-2021-12-2-0530. [in Russian]
8. Mizernaja M. i dr. Modelirovanie magmatogennyh rudnyh sistem zolotorudnyh mestorozhdenij Vostochnogo Kazahstana. // Vestnik Kievskogo nacional'nogo universiteta imeni Tarasa Shevchenko. Geologija rodovishh korisnih kopalin. −2020. −4 (91). -S. 49-55. DOI 10.17721/1728-2713.91.07. [in Russian]
9. Yessendossova A.T., Mykhailov V.A., Maussymbayeva A., Portnov V., Mynbaev M. Features of the geological structure and polymetallic mineralization of the Uspensky (Central Kazakhstan) and Dalnegorsky (Far East) ore districts//Iraqi Geological Journal. −2023. -Vol.56 (2F). P.44-60. DOI 10.46717/igj.56.2F.3ms-2023-12-9.
10. Zhukovskij i dr. Istorija geologicheskih issledovanij v Central'nom Kazahstane // Karaganda: Magzhan. - 2019. −637 s. [in Russian]
11. Rusakov M.P., Jagovkin I.S., Vaganov M.I. Uspensko-Spasskij rajon v Sev. -Vost. Kazahstane i ego mineral'nye resursy / Trudy vsesojuznogo Geologo-Razvedochnogo Ob#edinenija NKTP SSSR. Vyp. 236. - Leningrad; Moskva: NKTP: Gos. nauchno-tehnicheskoe geolog-razvedochnoe izd-vo. 1933. −111 s. [in Russian]
12. Sidorenko A.V. i dr. Geologija SSSR. Central'nyj Kazahstan, Geologicheskoe opisanie. Tom 20. Kniga 1/ Nedra. −1972. −532 s. [in Russian]
13. Mazurov A.K. i dr. Kolchedannye mestorozhdenija jensimaticheskih ostrovnyh dug Kazahstana na primere mestorozhdenija Abyz. // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. −2020. T.331(4). -S. 28–37. DOI 10.18799/24131830/2020/4/2591. [in Russian]

Информация об авторах

Тұрғали А.Т. - докторант, Каспийский университет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: aiman.tt@mail.ru;

Қожахмет Қ.Ә. —к.г-м.н., асоциированный профессор, Каспийский университет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: kossarbay.kozhakhmet@yu.edu.kz;

Исатаева Ф.М. - PhD, ассоциированный профессор, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: adambekova_farid@mail.ru;

Гусманова А. Г. - к.т.н., профессор, Каспийский университет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: aigul.gusmanova@yu.edu.kz;

Information about the authors

Turgali A.T. - doctoral student, Sh. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, e-mail: aiman.tt@mail.ru;

Kozhakhmet K.A. - Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Sh. Yesenova Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, e-mail: kossarbay.kozhakhmet@yu.edu.kz;

Issatayeva F. M.- PhD, associate professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: adambekova_farid@mail.ru;

Gusmanova A.G. - candidate of Technical Sciences, Professor, Sh. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, aigul.gusmanova@yu.edu.kz.

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-2

COMPLEX THERMOGASOCHEMICAL EFFECT ON THE BOTTOM-HOLE ZONE OF THE RESERVOIR: MECHANISM, TECHNOLOGY AND RESULTS OF INDUSTRIAL APPLICATION (USING THE EXAMPLE OF WELL NO. 359 OF THE WEST KAZAKHSTAN FIELD)

M.B. Turniyaz[✉], **T.S. Aisayeva**, **A.S. Hadiyeva**, **L.K. Nurshakhanova**
[1] *Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan*
[✉] *Corresponding author: mturniyaz@gmail.com*

The article discusses the application of the method of hydrogen thermogasochemical effect (HGH) on the bottom-hole zone of the reservoir in order to intensify oil production in conditions of high waterlogging and paraffination. The analysis of the mechanism of action, including thermal, gas-dynamic and chemical effects, is presented. Using the example of well No. 359 of the West Kazakhstan field, an assessment of the technology's effectiveness was carried out. It has been established that the use of THC provides a multiple increase in oil production (up to 35 times) and a significant reduction in waterlogging of products. For the first time, a quantitative assessment of the contribution of each of the three mechanisms (thermal, gas-dynamic, chemical) to the overall increase in productivity based on factor decomposition has been performed for this field. A comparative analysis was carried out with alternative methods of intensification (steam-thermal effect, hydrochloric acid treatment, hydraulic fracturing). It is shown that the main contribution to the increase in productivity is made by the complex effect of active gases, the temperature factor and intra-reservoir chemical reactions. The results obtained confirm the prospects of using the method for the development of depleted deposits with high-viscosity oils.

Keywords: thermogasochemical effects, bottom-hole zone, intensification of production, high-viscosity oil, hydrogen, reservoir permeability, comparative analysis of EOR, economic efficiency, measurement uncertainty.

КОМПЛЕКСНОЕ ТЕРМОГАЗОХИМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ ПЛАСТА: МЕХАНИЗМ, ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ СКВАЖИНЫ №359 МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА)

М.Б. Турниязᵡ, **Т.С.Айсаева**, **А.С. Хадиева**, **Л.К. Нуршаханова**

[1] *Каспийский университет им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан*
[✉] *e-mail: mturniyaz@gmail.com*

В статье рассматривается применение метода водородного термогазохимического воздействия (ТГХВ) на призабойную зону пласта с целью интенсификации добычи нефти в условиях высокой обводненности и парафинизации. Представлен анализ механизма воздействия, включающего тепловые, газодинамические и химические эффекты. На примере скважины №359 месторождения Западного Казахстана проведена оценка эффективности технологии. Установлено, что применение ТГХВ обеспечивает кратное увеличение дебита нефти (до 35 раз) и значительное снижение обводненности продукции. Впервые для данного месторождения выполнена количественная оценка вклада каждого из трёх механизмов (теплового, газодинамического, химического) в общий прирост продуктивности на основе разложения по факторам. Проведён сравнительный анализ с альтернативными методами интенсификации (паротепловое воздействие, солянокислотная обработка, гидроразрыв пласта). Показано, что основной вклад в повышение продуктивности вносит комплексное воздействие активных газов, температурного фактора и внутрипластовых химических реакций. Полученные результаты подтверждают перспективность применения метода для разработки истощенных месторождений с высоковязкой нефти.

Ключевые слова: термогазохимическое воздействие, призабойная зона, интенсификация добычи, высоковязкая нефть, водород, проницаемость пласта, сравнительный анализ EOR, экономическая эффективность, неопределённость измерений.

ҚАБАТТЫҢ АСТЫҢҒЫ АЙМАҒЫНА КЕШЕНДІ ТЕРМОГАЗОХИМИЯЛЫҚ ӘСЕРІ: ӨНЕРКӘСІПТІК ҚОЛДАНУ МЕХАНИЗМІ, ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ НӘТИЖЕЛЕРІ (БАТЫС ҚАЗАҚСТАН КЕН ОРНЫНЫҢ №359 ҰҢҒЫМАСЫНЫҢ МЫСАЛЫНДА)

М.Б. Тұрнияз[✉], **Т.С. Айсаева**, **Ә.С. Хадиева**, **Л.К. Нуршаханова**

[1] *Ш. Есенов атындағы Каспий университеті, Ақтау, Қазақстан*
[✉] *e-mail: mturniyaz@gmail.com*

Мақалада жоғары сулану және парафинизация жағдайында мұнай өндіруді қарқындату мақсатында қабаттың кенжар аймағына сутегі термогазохимиялық әсер ету (ТГХВ) әдісін қолдану қарастырылады. Жылу, газдинамикалық және химиялық әсерлерді қамтитын әсер ету механизмін талдау ұсынылған. Батыс Қазақстан кен орнының №359 ұңғымасының мысалында технологияның тиімділігін бағалау жүргізілді. ТГХВ қолдану мұнай дебитінің еселенген өсуін (35 есеге дейін) және өнімнің сулануының айтарлықтай төмендеуін қамтамасыз ететіні анықталды. Бұл кен орны үшін алғаш рет үш механизмнің әрқайсысының (жылу, газ-динамикалық, химиялық) факторлардың ыдырауы негізінде өнімділіктің жалпы өсуіне қосқан үлесін сандық бағалау жүргізілді. Баламалы Интенсификация әдістерімен салыстырмалы талдау жүргізілді (бу-жылу әсері, тұз қышқылын өңдеу, гидравликалық сыну). Өнімділіктің артуына негізгі үлес белсенді газдардың, температура факторының және қабатішілік химиялық реакциялардың кешенді әсерінен болатындығы көрсетілген. Алынған нәтижелер тұтқырлығы жоғары мұнайлары бар сарқылған кен орындарын игеру үшін әдісті қолдану перспективасын растайды.

Түйін сөздер: термогазохимиялық әсер, кенжар аймағы, өндірістің қарқындылығы, тұтқырлығы жоғары мұнай, сутегі, қабаттың өткізгіштігі, EOR салыстырмалы талдауы, экономикалық тиімділік, өлшеудің белгісіздігі.

Introduction. The current stage of oil field development is characterized by a steady trend towards the complication of geological and technical operating conditions, due to the depletion of readily available hydrocarbon reserves and the transition to the involvement of hard-to-recover resources in the development. The key factors complicating the extraction process include an increase in waterlogging of products, a decrease in reservoir temperatures, a deterioration in the filtration and capacitance properties of reservoirs, as well as a change in the rheological characteristics of the extracted fluids towards an increase in viscosity. Together, these processes lead to a decrease in the effectiveness of traditional mining intensification technologies and require the development of fundamentally new approaches to reservoir impact [1].

This problem is particularly acute in fields at a late stage of development, where reservoir pressure is maintained by pumping water. Under these conditions, productive formations cool down, especially in the bottomhole zone, which leads to thermodynamic destabilization of the oil. When the temperature drops below the saturation temperature of the oil with paraffin, intensive precipitation of solid hydrocarbon components begins. Complex asphalt-resin-paraffin deposits are formed, which partially or completely block the pore space and filtration channels.

Colmatation of the bottomhole zone of the formation is accompanied by a significant decrease in permeability, an increase in hydrodynamic resistances and a violation of the flow of fluids to the bottom of the well [2]. An additional negative factor is the formation of water-oil emulsions and an increase in the proportion of water in the produced products, which ultimately leads to a sharp drop in oil production and a deterioration in the technical and economic indicators of field development. The use of traditional methods, such as heat treatment, acid treatment or hydrodynamic methods, in some cases is not effective enough due to their limited depth of penetration and the local nature of the impact.

In this regard, the development and implementation of integrated technologies capable of having a multifactorial effect on the bottom-hole zone of the reservoir is of particular interest [3]. One of the most promising areas is the hydrogen thermogasochemical effect (HGH), based on the initiation of exothermic chemical reactions in the reservoir with the formation of high-energy gases and a significant amount of thermal energy [4]. The fundamental difference of this method is that the generation of active agents occurs directly in the reservoir, which ensures their deep penetration and high impact efficiency.

The THC method combines several interrelated mechanisms: thermal effects, leading to a decrease in oil viscosity and melting of solid deposits; gas-dynamic

effects, accompanied by the creation of pressure pulses and the development of fracturing; as well as chemical effects associated with the formation of active reagents capable of dissolving the mineral matrix of the rock and changing the composition of the fluid [5]. A special role in this process is played by atomic hydrogen, which has a high diffusion capacity and is able to penetrate into previously inaccessible zones of the pore space, initiating recombination processes with the release of additional energy.

The complex effect of these factors ensures not only the restoration of the permeability of the bottomhole zone, but also the structural and phase transformations of the hydrocarbon system, including the processes of intraplastic cracking and pyrolysis of high-molecular compounds [6]. This helps to reduce the viscosity of the oil, improve its mobility and, as a result, increase the oil recovery coefficient.

The purpose of this work is a detailed analysis of the physico-chemical mechanisms of hydrogen thermogasochemical action, as well as an assessment of its technological effectiveness based on field data obtained during processing of the bottomhole zone of a particular well. Particular attention is paid to quantifying changes in flow rate, water availability and other operational parameters that allow an objective assessment of the effectiveness of this technology.

Materials and Methods. This study was performed on the basis of a comprehensive analysis of the results of treatment of the bottom-hole formation zone in production well No. 359 located at one of the oil fields in Western Kazakhstan. The object of the study was chosen as a typical representative of mature fields at a late stage of development, where pronounced complicating factors are observed that significantly affect the filtration and storage properties of the productive reservoir and the efficiency of hydrocarbon production. To substantiate the representativeness of a single observation, an analysis of the geological and commercial characteristics of 5 neighboring wells in the same field was carried out, which showed similar trends in flooding and reduction in flow rate. The standard deviation of the oil flow rate in this group was ± 0.3 m3/day, which confirms the typicality of well No. 359.

The geological and technological conditions of the deposit under consideration are characterized by a number of unfavorable factors that determine the need to use thermochemical and physico-chemical methods to intensify the inflow [7]. In particular, there is a high degree of depletion of reservoir energy, accompanied by a drop in reservoir pressure and a decrease in the natural productivity of wells. A significant complicating factor is the high water content of the produced products, reaching up to 98%, which indicates a significant breakthrough of reservoir and injected waters in the production intervals and a deterioration in the oil inflow profile.

The following analysis methods are used in the work:

1. Analysis of field data – oil and liquid flow rates, water availability were recorded in increments of 1 day for 6 months before and after processing. The absolute error in measuring the oil flow rate was ± 0.5 m^3/day (ultrasonic flow meter UZN-01), and the water content was ± 2% (moisture meter UVN–10). The statistical significance of the changes was assessed by the Student's t-test for related samples.
2. The decomposition of the effect by mechanisms (thermal, gas-dynamic, chemical) is based on computational models: reduction of oil viscosity from temperature according to the Arrhenius equation; increase in permeability due to sediment dissolution according to the Karman-Kozeni model; contribution of the gas-dynamic factor according to the pressure drop in the bottomhole zone.
3. A comparative analysis with alternative intensification methods (steam-thermal effects, hydrochloric acid treatment, hydraulic fracturing) was carried out by summarizing data from 12 published papers for 2016-2025 for similar geological conditions.

An additional difficulty is the presence of highly viscous oil with degraded rheological characteristics, which leads to a decrease in fluid mobility in the pore space of the rock and an increase in hydrodynamic resistance. In addition, oil is characterized by an increased content of high molecular weight components, including paraffin compounds (up to 26%) and asphaltene fractions (up to 20%), which are prone to precipitation and formation of organic deposits in the bottomhole zone and pumping equipment. These processes lead to colmatation of the pore space, reduced permeability and deterioration of the hydrodynamic coupling of the reservoir with the well.

The technology of thermogasochemical exposure (TGHV) is considered as a method of intensification of inflow and restoration of filtration characteristics of the bottomhole formation zone. This method is based on the injection of specially selected redox mixtures (OATS) into the reservoir, which under certain thermobaric conditions enter into intense exothermic reactions.

As a result of the reactions in a porous medium, a significant amount of thermal energy is generated,

which contributes to the melting of paraffin deposits and a decrease in oil viscosity [8]. At the same time, gaseous reaction products are released, including hydrogen, carbon and nitrogen oxides, as well as acid vapors (HCl, hno_3), which additionally affect the reservoir rock, contributing to the partial dissolution of mineral deposits and the purification of pore channels.

The technological process of thermogasochemical exposure is implemented in stages and includes sequential injection of chemical reagents in specified volumes and concentrations. After each injection stage, a technological delay is provided, which is necessary for the initiation and completion of chemical reactions in the reservoir, as well as for the uniform distribution of the resulting gas and heat carriers in the treatment area. The multi-stage process allows you to control the intensity of the impact, ensure a targeted change in thermobaric conditions and increase the efficiency of cleaning the bottom-hole zone of the reservoir [9].

Thus, the technique used combines thermal, chemical and gas-dynamic effects on the reservoir system, which makes it possible to comprehensively solve the problem of restoring filtration characteristics and increasing the flow rate of a well at a late stage of field development.

Results and Discussion. Prior to the thermogasochemical treatment (THC), well No. 359 was in an extremely unfavorable operational condition, which is typical for late-stage facilities in the highly watered oil fields of Western Kazakhstan. There was a significant decrease in productivity and the predominance of the aqueous phase in the produced products, which indicated a significant deterioration in the hydrodynamic working conditions of the reservoir and the bottomhole zone.

In the initial state, the oil flow rate was only 1 m3/day, while the water content of the products reached 98%, which in fact indicates an almost complete loss of the oil component in the produced stream. The total flow rate of the liquid was 60 m3/day, which confirms the intensive water flow with extremely low oil production efficiency. Such a phase ratio indicates a pronounced colmatation of the bottom-hole zone of the formation, a decrease in effective permeability and the development of preferred water filtration channels, bypassing oil-saturated intervals.

Significant changes in the operational parameters of the well were recorded after the TGHV in July 2013. The oil flow rate increased to 35 m3/day, reflecting a multiple restoration of productivity and activation of previously drained oil-saturated zones. At the same time, the water level decreased to 40%, which is an important indicator of changes in the structure of filtration flows and the redistribution of inflow in favor of the oil phase. The total flow rate of the liquid was 58 m3/day, which, with a slight change in the total volume, indicates a significant improvement in the quality composition of the products produced.

Thus, the use of thermogasochemical technology ensured a 35-fold increase in oil production while reducing waterlogging by more than two times. The results obtained confirm the high efficiency of the method in conditions of severely depleted and highly watered formations, where traditional methods of intensification do not provide a stable effect.

The analysis of the mechanisms of action allows us to establish that the observed positive effect is associated with the complex influence of thermal, chemical and gas dynamic factors. Heat generation as a result of exothermic reactions promotes the melting of paraffin and tar-asphaltene deposits, reducing the hydrodynamic resistance in the pore space. The resulting gaseous reaction products, including hydrogen and oxides of carbon and nitrogen, create additional pressure in the porous medium, contributing to the purification of filtration channels and the redistribution of fluid flows.

In comparison with traditional thermogasochemical treatment technologies based on the use of powder pressure generators, hydrogen technology demonstrates a number of significant advantages. In particular, there is a deeper penetration of reagents into the formation due to the high diffusivity of the gas phase, as well as a more pronounced selective effect on the zones of coloration and highly viscous deposits. This ensures a more efficient restoration of the filtration and capacitance properties of the bottom-hole zone of the reservoir [10].

It was found that the effect of the use of HCG is characterized by a prolonged effect compared with classical methods of intensification. However, in some cases, there is a gradual decrease in efficiency over time, which may be due to the re-formation of deposits, the continued intake of the aqueous phase and the lack of stabilization of filtration regimes.

The results of the study confirm the high technological efficiency of thermogasochemical effects in conditions of heavily watered and depleted oil fields, however, they also indicate the need for further optimization of treatment modes to ensure the stability of the obtained effect and its long-term preservation.

As part of the thermogasochemical treatment (TGH), a phased technological scheme for the treatment of the bottom-hole zone of the formation was implemented, aimed at the consistent involvement of chemical

reagents in reservoir conditions and ensuring their deep penetration.

The work was carried out in the following sequence. Initially, a tubing string was lowered into the well with the shoe positioned at a depth of about 1326 m from the rotor table of the drilling rig. After that, chemical component No. 1 in a volume of 0.35 m3 was pumped into the tubing, which was pushed into the face with a silencing solution in a volume of 3.9 m3 with a controlled circulation outlet through the annular space.

Next, the tubing column was raised to a depth of 1250 m, after which chemical component No. 2 was pumped in a volume of 0.3 m3. Its sale was carried out with a silencing solution in a volume of 3.8 m3 with a circulation outlet through the annular space. The well was opened for reaction for 12-14 hours with the organization of constant monitoring of its condition.

At the next stage, tubing was installed at the level of the upper perforation holes (1279 m), and chemical component No. 3 in a volume of 1.5 m3 was pumped into the column. The sale was carried out with a silencing solution (2.3 m3), after which the annular space was closed, and the component was additionally crushed to the bottom with a silencing solution in a volume of 3 m3.

Then the tubing was re-installed at a depth of 1323 m, the annular space was closed, and the reaction products were crushed to the bottom with an additional volume of silencing solution (2 m3). After that, the well was kept for reaction and sludge for 24 hours.

The final stage was performed by direct flushing of the well through tubing with circulation through the annular space using a silencing solution in a volume of at least 18 m3, which ensured the removal of reaction products and cleaning of the bottom-hole zone of the formation before development.

Table 1 - Key performance indicators of well No. 359 before and after the TGHV

Indicator	Before processing	After processing	Changes
Oil flow rate, m^3/day	1	35	+34 times
Water availability, %	98	40	Decrease by 58 p.p.
Flow rate of liquid, m^3/day	60	58	Slight decrease

Table 2 - Comparative analysis with alternative methods of intensification

Method	The multiplicity of the increase in oil flow rate	Reduction of water supply	Duration of the effect, months	Unit costs, \$/m^3 of additional oil
TGHV (this study)	35	58	8-10	2,2
Parothermal effect	5-12	15-25	4-6	5,8
Hydrochloric acid treatment	2-4	5-10	2-3	4,1
Hydraulic fracturing	8-15	10-20	6-12	12,5

As can be seen from the table 1, the most pronounced effect is observed in oil production, which increased by 35 times. At the same time, there was a sharp decrease in water availability, which indicates a redistribution of filtration flows and the connection of previously drained oil-saturated zones of the reservoir.

A quantitative assessment of the contribution of each factor to the overall increase in oil production (34 m^3/day) showed:

1. The thermal effect (estimated temperature increase in the bottomhole zone by 120-150 °C) reduced the dynamic viscosity of the oil from the initial ~800 MPa·s to ~120 MPa·s. According to calculations based on the Arrhenius equation, this resulted in an increase in flow rate of 18 m^3/day (53% of the total effect).
2. The gas dynamic effect is the release of active gases (H_2, CO, CO_2, N_2) in a volume of about 50 m^3 (under reservoir conditions) created an additional pressure gradient, contributing to the cleaning of pore channels and the formation of microcracks. The contribution of the factor is estimated at 10 m^3/day (29%).
3. The chemical effect – the dissolution of the carbonate part of cement and asphalt-resin-paraffin deposits under the action of acid gases (HCl, hno_3) led

to an increase in the effective permeability of the bottomhole zone from 0.05 to 0.21 mm^2, which added 6 m^3/day (18%).

Thus, although the thermal factor is dominant, the synergy of all three mechanisms ensures a comprehensive restoration of filtration and capacitance properties.

To assess the relative efficiency of HCT, a comparison was made with published data on steam-thermal effects, hydrochloric acid treatment (15% HCl) and hydraulic fracturing in similar mining and geological conditions (highly viscous oil, waterlogging >90%, the presence of AFS). The results are tabulated.

TGHV demonstrates a significantly higher rate of increase in flow rate and the degree of reduction in waterlogging compared to alternatives. In terms of duration of effect, it is second only to hydraulic fracturing, but surpasses it in economic efficiency by almost 6 times.

Monitoring of well No. 359 for 12 months after treatment showed a gradual decrease in oil flow rate from 35 to 22 m^3/day and an increase in waterlogging from 40% to 65% by the 10th month. By the 12th month, the flow rate had stabilized at the level of 20 m^3/day with 68% water supply. The main reasons for the degradation of the effect:

- repeated deposition of paraffins and asphaltenes with a decrease in temperature in the bottomhole zone after the termination of the thermal pulse;
- ongoing water breakout through highly permeable layers that have not been completely insulated;
- the lack of stabilization of filtration modes due to the variable operating mode of the well (periodic shutdowns).

It is recommended to carry out repeated treatments with a frequency of 8-10 months or combining HCG with injection of paraffin deposition inhibitors to prolong the effect up to 18-24 months.

Table 3 - Characteristics of the technological stages of the TGHV

Stage	Operation	Download volume	Purpose of the operation
1	Injection of chemical components №1	0,35 m³	Primary activation of the bottomhole zone
2	Injection of chemical components №2	0,3 m³	Formation of reaction medium
3	Injection of chemical components №3	1,5 m³	Main thermogasochemical effect
4	Well flushing	≥18 m³	Removal of reaction products and purification of PP

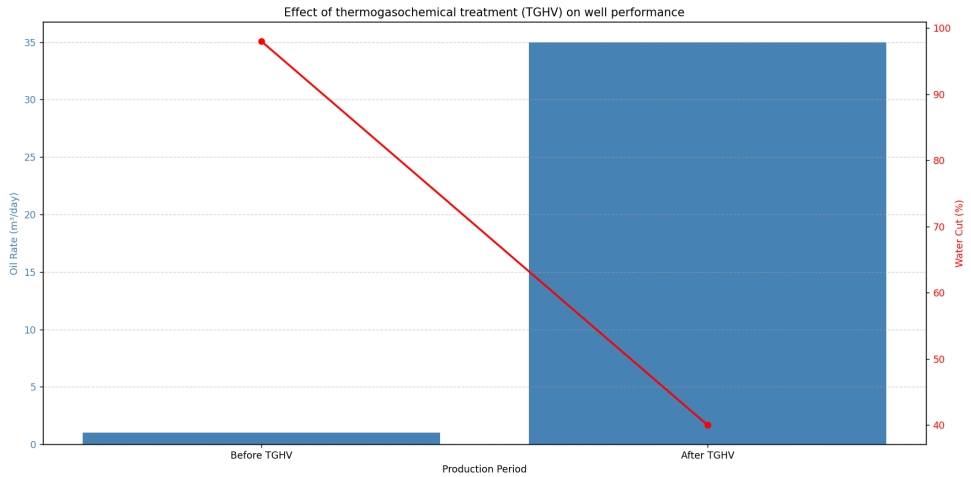


Fig. 1 - Changes in oil flow rate and water availability

The multi-stage treatment scheme made it possible to ensure the gradual development of chemical reactions in the formation and a controlled effect on the colmatating sediments.

Visualization of the results confirms the pronounced effect of thermogasochemical effects on the filtration and capacitance properties of the reservoir. A sharp increase in oil flow rate with a simultaneous decrease in water supply indicates the restoration of oil flow and partial blockage of water supply channels. The data

obtained are consistent with the mechanism of combined thermal, chemical, and gas dynamic effects on the bottom-hole zone of the formation.

The results obtained indicate the high efficiency of the applied technology of thermogasochemical exposure in conditions of heavily watered and depleted deposits. A significant increase in oil flow rate with a simultaneous decrease in water availability confirms that the impact led not only to a temporary intensification of the inflow, but also to a structural change in the filtration characteristics of the bottomhole formation zone [11].

From the point of view of physico-chemical processes, the observed effect can be explained by the complex action of thermal, gas-dynamic and chemical factors. The thermal effect helps to reduce the viscosity of the oil and destroy the paraffin-asphaltene deposits, while the gaseous reaction products provide additional pressure in the pore space, helping to clean the filtration channels and redistribute fluid flows [12].

Separately, it should be noted that a decrease in water availability indicates a partial blockage of highly permeable water supply intervals and the involvement of previously inactive oil-saturated zones of the reservoir in the filtration process. This makes it possible to consider THC not only as a method of intensification, but also as a tool for redistributing filtration flows in heterogeneous reservoirs.

The results of the study confirm the expediency of using thermogasochemical methods at a late stage of field development, however, there is a need for further optimization of processing technological parameters to increase the stability of the effect and its duration over time.

Conclusion. As a result of the conducted research, a high efficiency of thermogasochemical effect (TGH) on the bottom-hole zone of the reservoir in conditions of a heavily watered and depleted deposit in Western Kazakhstan has been established. An analysis of field data from well No. 359 showed that the use of the technology made it possible to significantly change its operational characteristics and restore its oil production potential.

Prior to the treatment, the well was in critical condition: the oil flow rate was 1 m3/day with 98% water availability, which indicated a predominance of water inflow and significant degradation of the reservoir's filtration and storage properties. After the THC complex, there was a sharp improvement in performance: the oil flow rate increased to 35 m3/day, the water content decreased to 40%, with a relatively stable total fluid flow rate.

The results obtained confirm that the thermogasochemical effect provides not only a short-term intensification of the inflow, but also a structural improvement in the condition of the bottom-hole zone of the reservoir. The effect is achieved due to the combined effects of thermal, chemical and gas dynamic factors leading to the destruction of paraffin-asphaltene deposits, reduction of filtration resistance and redistribution of fluid flows in favor of oil-saturated zones.

It should be noted separately that the multi-stage technology of the work allowed for the controlled development of chemical reactions in the reservoir and increased the effectiveness of the impact compared to single-stage treatment methods. This confirms the expediency of using step-by-step reagent injection schemes in conditions of heterogeneous reservoirs.

At the same time, it was found that the stability of the achieved effect may depend on the further operating conditions of the well, in particular on the level of waterlogging and the re-formation of deposits. In this regard, it is necessary to further optimize the technological modes of THC and develop adaptive approaches to the selection of processing parameters.

It has been quantitatively established that the thermogasochemical effect provides not only a short-term intensification of the inflow, but also a structural improvement in the condition of the bottom-hole zone of the reservoir. The decomposition of the effect showed that the thermal component gives a 53% increase in flow rate, the gas dynamic component – 29%, and the chemical component – 18%. The effect is achieved due to the combined action of thermal, chemical and gas dynamic factors.

A comparative analysis with alternative methods (steam-thermal effects, coexing, hydraulic fracturing) showed that THC is superior to them in terms of increasing the flow rate and reducing waterlogging, and also has the lowest unit costs per 1 m^3 of additional oil produced ($2.2/m3). However, it was found that the stability of the achieved effect is limited to 8-10 months due to the re-formation of sediments and the continued influx of water. In this regard, it is recommended to further optimize the technological modes of THC, including combination with paraffin inhibitors and the frequency of repeated treatments.

Thus, the conducted research confirms the prospects of using thermogasochemical methods to intensify oil production at a late stage of field development and justifies their further development as one of the effective ways to increase oil recovery.

References

1. Bealessio B. A., Alonso N. A. B. Mendes N. J., et.al. A review of enhanced oil recovery (EOR) methods applied in Kazakhstan//Petroleum. 2020.-Vol.7(3). -P.1-9. DOI 10.1016/j.petlm.2020.03.003.
2. Soltanbekova, K., Ramazanova, G., & Zhapbasbayev, U. Potential of Gas-Enhanced Oil Recovery (EOR) Methods for High-Viscosity Oil: A Core Study from a Kazakhstani Reservoir//Energies. −2025.-Vol.18(15):4182. DOI 10.3390/en18154182.
3. Kholmurodov T., Mirzaev O., Affane B., Tajik A., Romanova, K., Galyametdinov Y., & Vakhin A. Thermochemical upgrading of heavy crude oil in reservoir conditions//Processes. −2023. -Vol.11(7):2156. DOI 10.3390/pr11072156.
4. Razavifar M., Yunusov T., Mukhametdinova A., et.al. Improving oil recovery with ultrasound: mitigating asphaltene-induced formation damage//Petroleum Exploration and Production Technology. - 2025.-Vol.15:78. DOI 10.1007/s13202-025-01985-x.
5. Shi B., Hong J., Wang Z., Chang Z., & Li, F. Treatment of paraffin deposition behavior in gas-condensate wells with chemical inhibitors//Petroleum Exploration and Production Technology. 2024.-Vol.14(2).-P. 535-553. DOI 10.1007/s13202-023-01716-0.
6. Iskandarov E. K., Harbizade M. E. Technology for the Elimination of Asphaltene-Resin-Paraffin Deposits in the Processing of Gas-Condensate Well Production// Herald of the Azerbaijan Engineering Academy- 2025.-Vol.17(4). - P.72-80. DOI 1052171/hearld.330.
7. Alisheva Z., Nadirov K., Al-Dujaili A.N., Bimbetova G.,et.al Integrated strategies for controlling water cut in mature oil fields in Kazakhstan.//Polymers.-2025.-Vol.17(7):829. DOI 10.3390/polym17070829.
8. Srivastava R. K., Huang S. S., Dong M. Asphaltene deposition during CO2 flooding//Paper. −1999.-Vol.14(04):235-245. DOI 10.2118/59092-PA.
9. Mukhametshina A., Kar, T., Hascakir B. (2016). Asphaltene precipitation during bitumen extraction with expanding-solvent steam-assisted gravity drainage: effects on pore-scale displacement \//SPE Journal. −2016.-Vol.21(02):380-392. DOI 10.2118/170013-PA.
10. Bedrikovetsky P. Improved waterflooding in reservoirs of highly paraffinic oils. In SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference. −1997. DOI 10.2118/39083-MS.
11. Demir A. B., Bilgesu H. I., Hascakir, B. The effect of clay and salinity on asphaltene stability// In SPE Western Regional Meeting. 2016.- P.1800425- MS. DOI 10.2118/180425-MS.
12. Esetov Z. A., Turdiyev M. F., Kemalov A. F., et.al. Thermal-steam cyclic processing technology of development objects in Karazhanbas Kazakhstan field.//Indian J Sci Technol.-2016.-Vol.9(18).-P.1-9. DOI 10.17485/ijst/2016/v9i18/93749.

Information about the authors

Turniyaz M.B. - doctoral student, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering named after, Aktau, Kazakhstan, e-mail: mturniyaz@gmail.com;

Aisayeva T.S. - doctoral student, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering named after, Aktau, Kazakhstan, e-mail: tolkyn.saura2011@mail.ru;

Hadiyeva A.S.- doctoral student, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering named after, Aktau, Kazakhstan, e-mail: hadieva_albina@mail.ru;

Nurshakhanova L.K. - Candidate of Technical Sciences Associate Professor, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering named after, Aktau, Kazakhstan, e-mail: aitore2010@mail.ru.

Информация об авторах

Тұрнияз М.Б. - докторант, Каспийский университет им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан, mturniyaz@gmail.com;

Айсаева Т.С. - докторант, Каспийский университет им. Ш.Есенова, e-mail: tolkyn.saura2011@mail.ru;

Хадиева Ә.С. - докторант, Каспийский университет им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: hadieva_albina@mail.ru;

Нуршаханова Л.К. - кандидат технических наук, доцент ассоциированный профессор, Каспийский университет им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: aitore2010@mail.ru.

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-22

ЗИЯНДЫ ЖӘНЕ ҚАУІПТІ ӨНДІРІСТІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ТӘУЕКЕЛДЕРІН СӘЙКЕСТЕНДІРУДІҢ, БАҒАЛАУДЫҢ ЖӘНЕ БАСҚАРУДЫҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ

Л.М. Актаева, **А.М. Рахметова**, **Э.А. Кульмагамбетова**, **Г.К. Алшынбекова** **А.Т. Шилменова**, **Н.Т. Сагиндикова**, **А.Ш. Ташенов**, **А.Е. Еркінбекова**✉

[1] *Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан*

✉ *Корреспондент-автор: aizada211002@gmail.com*

Мақалада өндірістік үдерістердің күрделенуі мен еңбекті цифрландыру жағдайында зиянды және қауіпті өндірістік факторлардың тәуекелдерін сәйкестендірудің, бағалаудың және басқарудың халықаралық тәсілдері қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі кәсіптік тәуекелдерді бағалаудың қолданыстағы әдістерін жүйелеу және олардың еңбекті қорғауды басқару тәжірибесіндегі салыстырмалылығын арттыру қажеттілігімен байланысты. Зерттеудің мақсаты – кәсіби тәуекелдерді сәйкестендірудің, бағалаудың және басқарудың халықаралық тәсілдерін жүйелеу және салыстырмалы талдау. Зерттеуде ғылыми әдебиеттерді жүйелі және салыстырмалы талдау, жіктеу, жалпылау әдістері пайдаланылды. Ақпараттық негізді халықаралық стандарттар (ISO 31000, ISO 45001), Халықаралық еңбек ұйымының ұсынымдары (ХЕҰ) , Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы (ДДҰ) және Еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау жөніндегі ұлттық институты материалдары, сондай-ақ заманауи ғылыми басылымдар құрайды.Нәтижесінде кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістері әдістемелік күрделілік деңгейі бойынша сапалық, жартылай сандық және сандық болып жіктелді. Дәстүрлі әдістерді қолдану қарапайым болғанымен, дәлдігі шектеулі, ал қазіргі заманауи тәсілдер, соның ішінде гибридті әдістерді бағалаудың жоғары негізділігін қамтамасыз етеді.Тәуекелдерді басқарудың интреграцияланған және цифрлық модельдеріне көшу үрдісі анықталды. Алынған нәтижелер еңбекті қорғауды басқару жүйелерін әзірлеу және жетілдіру кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: кәсіптік тәуекел, тәуекелдерді бағалау, тәуекелдерді басқару, зиянды және қауіпті өндірістік факторлар, тәуекелдерді бағалау әдістері, еңбекті қорғау, цифрландыру.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПОДХОДЫ К ИДЕНТИФИКАЦИИ, ОЦЕНКЕ И УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

Л.М. Актаева, **А.М. Рахметова**, **Э.А. Кульмагамбетова**, **Г.К. Алшынбекова**, **А.Т. Шилменова**, **Н.Т. Сагиндикова**, **А.Ш. Ташенов**, **А.Е. Еркінбекова**✉

[1] *РГП на ПХВ Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

✉ *e-mail: aizada211002@gmail.com*

В статье рассмотрены международные подходы к идентификации, оценке и управлению рисками вредных и опасных производственных факторов в условиях усложнения производственных процессов и цифровизации труда. Актуальность исследования обусловлена необходимостью систематизации существующих методов оценки профессиональных рисков и повышения их сопоставимости в практике управления охраной труда. Цель исследования – систематизация и сравнительный анализ международных подходов к идентификации, оценке и управлению профессиональными рисками. В исследовании использовались методы систематического и сравнительного анализа, классификации, обобщения научной литературы. Информационную основу составляют международные стандарты (ISO 31000, ISO 45001), рекомендации Международной организации труда, материалы Всемирной организации здравоохранения и Национального института охраны труда, а также современные научные издания. В результате методы оценки профессиональных рисков классифицировались по уровню методической сложности как качественные, полуколичественные и количественные. Хотя традиционные методы просты в использовании, они имеют ограниченную точность, а современные подходы, в том числе гибридные, обеспечивают высокую обоснованность оценки. Выявлена тенденция к переходу на интегрированные и цифровые модели управления рисками. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и совершенствовании систем управления охраной труда.

Ключевые слова: профессиональный риск, оценка рисков, управление рисками, вредные и опасные производственные факторы, методы оценки рисков, охрана труда, цифровизация.

INTERNATIONAL APPROACHES TO THE IDENTIFICATION, ASSESSMENT, AND MANAGEMENT OF RISKS ASSOCIATED WITH HAZARDOUS AND DANGEROUS WORKPLACE FACTORS

L.M. Aktayeva, **A.M. Rakhmetova**, **E.A. Kulmagambetova**, **G.A. Alshynbekova**, **A.T Shilmenova**, **N.T. Sagindikova**, **A.Sh. Tashenov**, **A.Y. Yerkinbekova**✉

[1] *RSE at the National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of thePopulation of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*
✉ *e-mail: aizada211002@gmail.com*

The article discusses international approaches to the identification, assessment and risk management of harmful and dangerous production factors in the context of increasing complexity of production processes and digitalization of labor. The relevance of the study is due to the need to systematize existing methods of occupational risk assessment and increase their comparability in occupational health and safety management practice. The purpose of the study is to systematize and comparatively analyze international approaches to the identification, assessment, and management of occupational risks. The research used methods of systematic and comparative analysis, classification, and generalization of scientific literature. The information base consists of international standards (ISO 31000, ISO 45001), International Labour Organization recommendations, World Health Organization (WHO) and National Institute for Occupational Safety and Health materials, as well as modern scientific publications. As a result, occupational risk assessment methods were classified according to the level of methodological complexity as qualitative, semi-quantitative and quantitative. Although traditional methods are easy to use, they have limited accuracy, and modern approaches, including hybrid, provide high validity of the assessment. The trend towards the transition to integrated and digital risk management models has been revealed. The results obtained can be used in the development and improvement of occupational health and safety management systems.

Keywords: occupational risk, risk assessment, risk management, harmful and hazardous production factors, risk assessment methods, labor protection, digitalization.

Кіріспе. Өндірістік үдерістердің күрделенуінің, экономиканы цифрландырудың және еңбек сипатының өзгеруінің қазіргі жағдайында кәсіби тәуекелдерді басқару мәселесі ерекше өзекті болып отыр. Дәстүрлі зиянды және қауіпті өндірістік факторлармен қатар автоматтандыруға, цифрлық технологияларға және психоәлеуметтік жүктемелерге байланысты жаңа тәуекелдердің маңызы артып келеді, бұл оларды сәйкестендірудің, бағалаудың және басқарудың қолданыстағы тәсілдерін қайта қарауды талап етеді.

Ұлттық тәжірибеде кәсіптік тәуекелдерді басқару Қазақстан Республикасының Еңбек кодексін қоса алғанда, нормативтік актілермен реттеледі [1].

Кәсіби тәуекелдерді басқарудың халықаралық практикасы ISO 31000 және ISO 45001 қоса алғанда, стандарттау үшін халықаралық ұйымда бекітілген тәуекелге бағдарланған ойлау қағидаларына, сондай-ақ халықаралық зертханалық ұйымда (ILO-OSH 2001) және Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДҰ) ұсынымдарына негізделеді. Бұл құжаттар ұйымды басқару жүйесіне тәуекелдерді бағалауды интерграциялау үшін әдіснамалық негіз қалыптастырады және реактивті шаралардан профилактикалық және реактивті шаралардан профилактикалық басқаруға көшуге бағдарлайды [2-6].

Заманауи ғылыми зерттеулерді талдау кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістері біркелкі емес екенін және сапалы матрицалық модельдерден жартылай сандық және сандық әдістерге, соның ішінде доза-эффект модельдеріне және көп критерийлік талдау әдістеріне дейін өзгеретінін көрсетеді [7-10]. Бағалау құралдарының дамуына қарамастан, оларды жүйелеу, салыстыру және нақты өндіріс жағдайларына бейімделу мәселесі сақталуда.

Осылайша, халықаралық нормативтік базаның жеткілікті деңгейде дамуына қарамастан, тәуекелдерді бағалау және басқару әдістерін практикалық қолдану әлі де жүйеленбеген. Сондықтан оларды жүйелі түрде талдау қажеттілігі туындайды. Зерттеу объектісі өндірістік ортадағы кәсіби тәуекелдерді басқару жүйелері болып табылады.

Зерттеу нысаны - зиянды және қауіпті өндірістік факторлардың тәуекелдерін анықтау, бағалау және басқару әдістері.

Зерттеудің мақсаты - кәсіби тәуекелдерді сәйкестендірудің, бағалаудың және басқарудың халықа-

ралық тәсілдерін жүйелеу және салыстырмалы талдау.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: тәуекелдерді басқарудың халықаралық стандарттары мен нормативтік тәсілдерін талдау:

- кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістерін жіктеу;
- қазіргі заманғы әдіснамалық тәсілдерін салыстырмалы талдау;
- кәсіби тәуекелдерді басқару жүйелерінің даму тенденцияларын анықтау.

Зерттеу гипотезасы – тәуекелдерді бағалаудың қолданыстағы әдістерін жүйелеу мен интеграциялау басқарушылық шешімдердің негізділігін арттырып, еңбекті қорғау саласындағы алдын алу шараларының тиімділігін арттырады.

Жұмыста жүйелік талдау, салыстырмалы талдау, ғылыми әдебиеттерді жіктеу, жалпылау және контент-талдау әдістері қолданылды. Зерттеудің ақпараттық базасын халықаралық стандарттар ISO 31000 және ISO 45001 [2, 3], Халықаралық еңбек ұйымының (ХЕҰ) ұсынымдары [4], Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДҰ) материалдары, АҚШ-тың Еңбек қауіпсіздігі және еңбекті қорғау жөніндегі ұлттық институтының (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) материалдары [5, 6], сондай-ақ 2010-2025 жылдар аралығында жарияланған ғылыми еңбектер [7] құрады.

Әдебиеттерді іріктеу кезінде зерттеу тақырыбына сәйкестігі, жарияланған жылы, рецензиялануы және толық мәтінінің қолжетімділігі ескерілді. Тақырыпқа сәйкес келмейтін, қайталанатын немесе ғылыми сапасы талаптарға сәйкес келмейтін жарияланымдар талдауға енгізілген жоқ.

Зиянды және қауіпті өндірістік факторларды сәйкестендіру МЕМСТ 12.0.003–2015 стандартымен белгіленген жіктеуге сәйкес жүзеге асырылды. Қолданыстағы ғылыми шолулардан айырмашылығы, бұл зерттеуде кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізіліп, олардың өндірістік практикада қолданылу ерекшеліктеріне ерекше назар аударылды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы кәсіби тәуекелдерді бағалаудың заманауи әдістерін әдіснамалық күрделілік деңгейі мен практикалық қолдану саласына сәйкес құрылымдық жіктеуді ұсыну және оларды салыстырмалы талдау нәтижесінде қолдану ерекшеліктерін жүйелеу болып табылады.

Авторлардың ғылыми үлесі кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістерін әдіснамалық күрделілік деңгейі мен практикалық қолдану саласы бойынша құрылымдық жүйелеуде және оларды салыстырмалы бағалау тәсілін ұсынуда көрінеді. Ұсынылған жіктеу өндірістік жағдайларға сәйкес тәуекелдерді бағалау әдісін таңдауды негіздеуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер. Осы зерттеу шеңберінде өндірістік ортада олардың әдіснамалық қолданылуы тұрғысынан кәсіби тәуекелдерді сәйкестендіруге, бағалауға және басқаруға қазіргі заманғы халықаралық тәсілдердің құрылымы мен салыстырмалылығын анықтауға бағытталған зерттеу мәселесі тұжырымдалды.

Ғылыми дереккөздерді іріктеу келесі критерийлер бойынша жүзеге асырылды: зерттеу тақырыбына сәйкестігі, әдістемелік тәсілдердің сипаттамасы, рецензияланған ғылыми басылымдарда жариялануы және өзектілігі. Зерттеу барысында 50-ден астам басылым талданды, оның ішінде егжей-тегжейлі талдау үшін ең маңызды 15 дереккөз таңдалды. Зиянды және қауіпті өндірістік факторларды сәйкестендіру МЕМСТ 12.0.003-2015 белгіленген жіктеуді ескере отырып жүзеге асырылды [11].

Жұмыста бірін - бірі толықтыратын әдістер кешені пайдаланылды: жүйелік талдау тәуекелдерді басқарудың халықаралық тәсілдерінің құрылымын зерттеу үшін, салыстырмалы талдау - кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістерін салыстыру үшін, жіктеу әдісі-оларды әдіснамалық күрделілік деңгейі бойынша құрылымдау үшін, контент - талдау-дамудың негізгі бағыттарын, тәуекелдерді бағалаудың әртүрлі әдістерін қолдану жиілігін және қазіргі тенденцияларды анықтау үшін қолданылды [12].

Зерттеу кезең-кезеңімен жүргізілді және халықаралық нормативтік тәсілдерді талдауды, тәуекелді бағалау әдістерін жүйелеу мен жіктеуді және оларды салыстырмалы талдауды қамтыды. Әдістерді жіктеу формализация дәрежесі, қолданылатын мәліметтер типі және есептеу процедураларының күрделілік деңгейі бойынша жүзеге асырылды.

Әдістерді салыстырмалы бағалау келесі критерийлер бойынша жүзеге асырылды: формализация дәрежесі, қолданылатын мәліметтер түрі, ақпараттық базаға қойылатын талаптар, нәтижелердің дәлдік деңгейі, сондай-ақ әртүрлі өндірістік жағдайларда практикалық қолдану мүмкіндігі.

Кәсіптік тәуекелдерді бағалау әдістерінің жіктелуі әдістемелік күрделілік деңгейі мен есептеу рәсімдерін ресімдеу дәрежесі негізінде жүргізілді, бұл сапалық, жартылай сандық және сандық тәсілдерді бөліп көрсетуге және олардың салыстырмалылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік берді.

Алынған жіктеу "нәтижелер және талқылау"бөлімінде ұсынылған кәсіби тәуекелдерді бағалау

әдістерін кейінгі салыстырмалы талдауға негіз болды.

Жұмыста жүйелі талдауды, салыстырмалы талдауды, ғылыми жарияланымдарды жіктеу әдісін және контент-талдауды қамтитын зерттеудің қосымша әдістерінің кешені пайдаланылды, бұл дамудың негізгі бағыттарын және кәсіби тәуекелдерді бағалаудың заманауи тәсілдерінің ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді.

Деректерді өңдеу және түсіндіру нормативтік құжаттар мен ғылыми зерттеулерде ұсынылған нәтижелерді жалпылау және салыстыру негізінде, олардың еңбекті қорғауды басқару жүйелерінде практикалық қолданылуын ескере отырып жүзеге асырылды.

Нәтижелер және талқылау. Жүргізілген талдау кәсіби тәуекелдерді басқарудың қазіргі заманғы халықаралық жүйесі стандарттардың [2, 3] және халықаралық ұйымдардың ұсынымдарының [4-6] интеграциясы негізінде қалыптасатынын көрсетті. Негізгі қағида қауіпті оқиғаларға реактивті реакциядан олардың алдын-алу ескертуге көшуді көздейтін тәуекелге бағыттау.

ISO 31000 стандарты тәуекелдерді басқарудың жалпы принциптері мен процесін анықтайтыны анықталды, ал ISO 45001 бұл тәсілдерді еңбекті қорғау саласына бейімдейді.

Өз кезегінде ХЕҰ ұсынымдары тәуекелдерді басқаруды еңбекті қорғаудың ұлттық жүйелеріне интеграциялауға және қызметкерлердің осы процеске қатысуына бағытталған.

Осылайша, халықаралық тәсілдер қолдану саласы мен ерекшеліктеріндегі айырмашылықтарға қарамастан, тәуекелдерді басқарудың бірыңғай қағидаттарына негізделеді.

Халықаралық тәуекелдерді бағалау жүйесінің маңызды элементі химиялық заттарды жіктеу мен таңбалаудың жаһандық келісілген жүйесі (GHS) шеңберінде жүзеге асырылатын қауіпті факторларды жіктеуді үйлестіру [13], бұл химиялық тәуекелдерді сәйкестендіру тәсілдерін біріздендіруді қамтамасыз етеді.

Жүргізілген талдау нәтижесінде кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістері әдістемелік күрделілік деңгейі бойынша үш негізгі топқа жүйеленуі мүмкін екендігі анықталды: сапалық әдістер (тәуекел матрицалары, бақылау-бандинг); жартылай сандық әдістер (индекстік және балдық модельдер); сандық әдістер ("доза-әсер" модельдері, ықтималдық бағалары).

Талдау көрсеткендей, сапалы әдістер қолданудың қарапайымдылығымен сипатталады, бірақ олардың дәлдігі шектеулі. Жартылай сандық әдістер дәлдік пен практикалық қолдану арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді. Сандық әдістер жоғары дәрежеде жарамды, бірақ айтарлықтай деректер мен ресурстарды қажет етеді [7, 9].

Тәуекелді бағалау әдісін таңдау бастапқы деректердің қол жетімділігі мен басқару міндеттерінің ерекшелігінің үйлесімімен анықталады.

Сонымен қатар, қазіргі заманғы тәсілдерде тәуекелге жарамдылық критерийлері, соның ішінде белгісіздік жағдайында тәуекелдің рұқсат етілген деңгейін негіздеуге мүмкіндік беретін ақылға қонымды жеткіліктілік принципі (ALARP) маңызды рөл атқарады [14].

Салыстырмалы талдау тәуекелді бағалаудың дәстүрлі әдістері (матрицалық модельдер) ең кең таралған болып қала беретінін көрсетті, бірақ оларды қолдану бағалаудың субъективтілігімен және тәуекел параметрлерінің өзгеруіне төмен сезімталдықпен байланысты бірқатар шектеулермен бірге жүреді [7, 8].

Ғылыми жарияланымдардың мазмұнды талдау элементтері кәсіби тәуекелдерді бағалаудың қазіргі тәжірибесінде матрицалық модельдер және бақылау-бандинг сияқты дәстүрлі әдістер басым екенін көрсетті, дегенмен гибридті және цифрлық тәсілдерді қолданудың тұрақты өсуі байқалады. Жасанды интеллект пен көп критериалды талдау әдістерін қолдануға бағытталған зерттеулердің үлесі соңғы жылдары артып келе жатқаны анықталды, бұл кәсіби тәуекелдерді басқару жүйелерінің күрделену және цифрландыру тенденциясын көрсетеді.

Сандық деректердің шектеулілігі жағдайында кәсіби тәуекелдерді ықтимал қауіп деңгейлері бойынша топтастыруға және оны өндірістік факторларды практикалық бағалауда пайдалануға мүмкіндік беретін бақылау тобы әдісі кеңінен қолданылады [15].

Халықаралық тәжірибе контекстінде жартылай сандық әдістер сапалы матрицалық модельдер мен қатаң сандық есептеулер арасында аралық орынды алады. Олардың басты артықшылығы-бастапқы деректердің шектеулілігі жағдайында қолданудың салыстырмалы қарапайымдылығын сақтай отырып, сараптамалық бағалауды рәсімдеу мүмкіндігі болып саналады.

Индекстік және кешенді әдістерді қолдану жеке параметрлердің вариацияларына жоғары сезімталдықпен сипатталатын қарапайым доза-норма қаты-

настарымен салыстырғанда тәуекелді бағалау нәтижелерінің салыстырмалылығын арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Бұл экспозицияның қарқындылығын ғана емес, экспозицияның ұзақтығын, сондай-ақ өндіріс процесінің ұйымдастырушылық факторларын ескеретін интегралды көрсеткіштерді қолданудың орындылығын растайды [9].

Осылайша, жартылай сандық әдістер нақты өндіріс жағдайында кәсіби тәуекелдерді бағалаудың тиімді құралы ретінде әрекет етеді, сандық модельдердің дәлдігі мен сапалық тәсілдердің практикалық қолданылуы арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді.

Сапалық және сандық әдістер деректерге қойылатын талаптар мен дәлдік деңгейінде айтарлықтай ерекшеленеді, бұл олардың әртүрлі өндірістік жағдайларда қолданылуын анықтайды.

Сонымен қатар, көп критерийлік талдау әдістерін, гибридті модельдерді қоса алғанда, заманауи тәсілдер бағалаудың дәлдігін арттыруға және тәуекелдердің неғұрлым негізделген басымдылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [10, 16].

Өндірісті цифрландыру жағдайында басқару шешімдерінің жеделдігі мен дәлдігін арттыруға мүмкіндік беретін автоматтандырылған жүйелер мен аналитикалық платформаларды қоса алғанда, кәсіби тәуекелдерді бағалау мен бақылаудың цифрлық құралдарын пайдалану ерекше маңызға ие [12].

Әдістерді ажыратудың негізгі критерийлері: ресімдеу дәрежесі; бастапқы деректерге қойылатын талаптар; бағалау дәлдігі деңгейі; практикалық қолдану мүмкіндігі.

Бұл жағдайда кәсіби тәуекелдер техникалық, ұйымдастырушылық және адами факторлардың өзара әрекеттесуіне байланысты жүйелік құбылыс ретінде қарастырылады [17].

Жүргізілген салыстырмалы талдау тәуекелді бағалау әдістері арасындағы айырмашылықтар тек сандық емес, сонымен қатар әдіснамалық сипатта болатындығын көрсетті. Дәстүрлі әдістер бағалаудың жеңілдетілген үлгілеріне бағытталған және негізінен қауіптерді бастапқы анықтау үшін пайдаланылады, ал заманауи тәсілдер көп өлшемді параметрлерді біріктіруге және белгісіздікті есепке алуға бағытталған.

Әдістерді қолданудың тиімділігі бастапқы деректердің қолжетімділігін, өндірістік ортаны цифрландыру деңгейін және бағалау дәлдігіне қойылатын талаптарды қоса алғанда, факторлар жиынтығымен анықталады. Бұл оларды қолданудың нақты шарттарын ескере отырып, тәуекелді бағалау әдістерін таңдау қажеттілігін растайды.

Кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістерінің салыстырмалы талдауы дәстүрлі және заманауи тәсілдердің формализация деңгейі, деректер талаптары және қолдану саласы бойынша айтарлықтай ерекшеленетінін көрсетті. Дәстүрлі әдістердің негізгі сипаттамалары 1 - кестеде, ал қазіргі заманғы әдістер 2-кестеде келтірілген.

1-кесте. Кәсіптік тәуекелдерді бағалаудың дәстүрлі әдістері

Әдіс топтары	Мысалдар	Дәлдік дәрежесі	Қойылатын талаптар	Артықшылықтар	Шектеулер	Қолданыс аясы
Сапалық	Тәуекел матрицалары, бақылау-бандинг	Төмен-орташа	Минималды	Қолданыстағы қарапайымдылығы, жылдамдығы	Субъективтілік, төмен сезімталдық	Шағын кәсіпорындар, бастапқы бағалау
Жартылай сандық	Индекс әдістері, Fine-Kinney	Орташа	Шектеулі	Дәлдік пен қолдану балансы	Сараптамалық бағалауға тәуелділік	Өндірістік кәсіпорындар
Сандық	Dose-response, PBPK, ықтималдық модельдері	Жоғары	Маңызды	Нәтижелердің жоғары негізділігі	Күрделілік және ресурстарды қажет ету	Химия өнеркәсібі, Еңбек медицинасы

Жүргізілген салыстырмалы талдау көрсеткендей, кәсіби тәуекелдерді бағалаудың әмбебап әдісі жоқ. Әдісті таңдау өндірістік үдерістің ерекшелігіне, қолжетімді деректер көлеміне және бағалау мақсатына

тәуелді. Сондықтан нақты өндірістік жағдайда бірнеше әдісті біріктіріп қолдану неғұрлым тиімді болып табылады.

Кәсіби тәуекелдерді бағалаудың заманауи әдістерінің артықшылықтарына қарамастан, оларды қолдану бірқатар шектеулермен қатар жүреді. Атап айтқанда, сандық және AI-бағдарланған әдістер сенімді деректердің үлкен көлемін және дамыған ақпараттық инфрақұрылымды талап етеді, бұл оларды цифрландыру деңгейі төмен кәсіпорындарда қолдануды шектейді. Бұдан басқа, модельдердің жоғары күрделілігі оларды практикалық қолдануды және алынған нәтижелерді түсіндіруді қиындатуы мүмкін.

Ал дәстүрлі әдістер қолжетімді болғанымен, жоғары субъективтілігімен және қауіп параметрлерінің өзгеруіне төмен сезімталдығымен сипатталады, бұл тәуекелдерді жеткіліксіз бағалауға әкелуі мүмкін.

Ұсынылған әдістерді салыстыру дәстүрлі тәсілдердің ең қолжетімді әрі кеңінен қолданылатынын көрсетті, алайда олардың дәлдігі мен бейімделгіштігі шектеулі. Өз кезегінде, заманауи әдістер, соның ішінде гибридті тәсілдер, бағалаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етіп, тәуекел факторларының күрделі өзара байланыстарын ескеруге мүмкіндік береді. Дегенмен, оларды қолдану айтарлықтай ресурстар мен дамыған ақпараттық инфрақұрылымды талап етеді [10, 18].

2-кесте. Кәсіби тәуекелдерді бағалаудың заманауи әдістері

Әдіс топтары	Мысалдар	Дәлдік дәрежесі	Қойылатын талаптар	Артықшылықтар	Шектеулер	Қолданыс аясы
Гибридті әдістер	FMEA, интеграцияланған модельдер	Орташа-жоғары	Орташа	Бірнеше факторларды ескеру, икемділік	Орнатудың күрделілігі	Өнеркәсіптік жүйелер
Көп критерийлі әдістер	TOPSIS, VIKOR	Жоғары	Орташа	Тәуекелдерді саралау мүмкіндігі	Критерийлерді ресімдеуді талап етеді	Басқару шешімдері
AI-бағытталған әдістер	Нейрондық желілер, fuzzy AHP	Жоғары	Жоғары	Жоғары дәлдік пен бейімделу	Іске асырудың күрделілігі	Industry 4.0, автоматтандырылған жүйелер

Жалпы, зерттеу нәтижелері кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістерін әдіснамалық күрделілік деңгейі бойынша жүйелеу оларды таңдаудың негізділігін арттырып, өндірістік практикада тиімді қолдануға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Сонымен бірге, жүргізілген талдау қазіргі ғылыми зерттеулерде кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістерін таңдаудың бірыңғай тәсілі қалыптаспағанын көрсетті. Бұл олардың нәтижелерін салыстыруды қиындатып, стандарттау мүмкіндіктерін шектейді. Сондықтан кәсіби тәуекелдерді бағалаудың бірыңғай әдіснамалық тәсілдерін одан әрі жетілдіру қажеттілігі сақталады.Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы еңбекті қорғауды басқару жүйелерінде барабар тәсілдерді таңдау құралы ретінде кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістерінің ұсынылған жіктемесін пайдалану мүмкіндігі болып табылады. Зерттеу нәтижелері кәсіпорындардың ішкі регламентерін әзірлеу кезінде, сондай-ақ еңбек қауіпсіздігін басқарудың тәуекелге бағдарланған стратегияларын қалыптастыру кезінде қолданылуы мүмкін.

Тәуекелді бағалау әдістерін таңдауда жүйелі тәсілді қолдану басқарушылық шешімдердің дұрыстығын және профилактикалық шаралардың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді, бұл алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығын растайды.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу кәсіби тәуекелдерді басқарудың заманауи халықаралық жүйесі реактивті реакциядан тәуекелдерді профилактикалық басқаруға көшуді қамтамасыз ететін халықаралық стандарттар мен ұсыныстарды біріктіру негізінде қалыптасатынын көрсетті [2-6]. Кәсіби тәуекелдерді бағалау әдістері әдістемелік күрделілік деңгейі бойынша сапалық, жартылай сандық және сандық болып жүйеленуі мүмкін, бұл бағалау нәтижелерінің

салыстырмалылығын және басқару шешімдерінің негізділігін арттыруға мүмкіндік береді. Талдау көрсеткендей, дәстүрлі әдістер кеңінен қолданылғанына қарамастан, шектеулі дәлдікпен және субъективтіліктің жоғары деңгейімен сипатталады, ал қазіргі заманғы тәсілдер, соның ішінде гибридті әдістер тәуекелдерді бағалаудың жоғары дәлдігі мен бейімделуін қамтамасыз етеді. Кәсіптік тәуекелдерді бағалау әдістерін дамыту өндірістік процестерді цифрландырумен, ескерілетін факторлардың спектрін кеңейтумен және әртүрлі әдіснамалық тәсілдерді интеграциялаумен байланысты екені анықталды. Тәуекелді бағалау әдісін таңдау бастапқы деректердің қолжетімділігімен, талап етілетін дәлдік деңгейімен және өндірістік ортаның ерекшелігімен анықталатыны анықталды. Алынған нәтижелер тәуекелді бағалау әдістерін таңдауға жүйелі тәсілді қолданудың орындылығын растайды және еңбекті қорғауды басқару жүйелерін әзірлеу мен жетілдіруде қолданылуы мүмкін. Әрі қарайғы зерттеулердің болашағы цифрлық технологияларды қолдануға және болжау дәлдігін жақсартуға бағытталған кәсіби тәуекелдерді бағалаудың интеграцияланған және бейімделген модельдерін әзірлеумен байланысты.

Қаржыландыру. *Мақалада «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК-ның ғылыми - зерттеу жұмыстарын бағдарламалық - нысаналы қаржыландыру шеңберінде «Еңбек жағдайлары және кәсіптік тәуекелдер: «жасыл экономикаға» көшу шеңберінде топтастырудың жіктелуі, санаттары мен өлшемшарттары»» (ЖТН BR22182667) тақырып бойынша ғылыми-техникалық бағдарламаны іске асыру барысында алынған ғылыми зерттеулердің нәтижелері ұсынылған.*

Әдебиеттер

1. Трудовой кодекс Республики Казахстан. −2015. -№ 414-V ЗРК. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414/links#to. Қаралған күні: 04.03.2026.
2. ISO 31000:2018. Risk management - Guidelines. - Geneva: International Organization for Standardization, 2018. - 16 p. URL: https://www.iso.org/standard/65694.html?utm_source. Қаралған күні: 04.03.2026.
3. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use. - Geneva: International Organization for Standardization. −2018. - 41 p. URL: https://www.iso.org/standard/63787.html?utm_source. Қаралған күні: 04.03.2026.
4. ILO-OSH 2001. Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems/ International Labour Organization. −2001. −32 p. ISBN: 9221116344.
5. IPCS. World Health Organization. WHO Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards. - 2nd ed./WHO. −2021. −112 p. ISBN 978-92-4-003572-0.
6. Daniels R.D., Gilbert S.J., Kuppusamy S.P., Kuempel E.D., Park R.M., Pandalai S.P., Smith R.J., Wheeler M.W., Whittaker C., Schulte P.A. Current Intelligence Bulletin 69: NIOSH Practices in Occupational Risk Assessment//Cincinnati: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). −2020. -DHHS (NIOSH) Publication No. 2020-106. DOI 10.26616/NIOSHPUB2020106revised032020.
7. Liu R., Liu H.-C., Shi H., Gu X. Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review of models, methods, and applications // Safety Science. - 2023. - Vol. 160: 106050. DOI 10.1016/j.ssci.2022.106050.
8. Floeder A., Jones R.M., Arnold S.F. Risk assessment methods in occupational health and hygiene: a scoping review // Annals of Work Exposures and Health. - 2025. - Vol. 69(2). - P. 120-131. DOI 10.1093/annweh/wxae095.
9. Xu Q., Zhang M., Xu L., et al. Evaluation of strategies for the occupational health risk assessment of chemical toxicants in the workplace based on a quantitative analysis model // Frontiers in Public Health. −2022. -Vol. 10:1035065. DOI 10.3389/fpubh.2022.1035065
10. Tong C., Wang Y., Liu H., Tong B., Zhu J., Kou M. From risk management to AI-driven safety: A bibliometric review of occupational safety and health research // Results in Engineering. - 2025. - Vol. 28: 107440. DOI 10.1016/j.rineng.2025.107440.
11. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация/Москва: Стандартинформ. −2016. URL: https://prg.kz/document/?doc_id=34182412&utm_source. Қаралған күні: 04.03.2026.

12. European Agency for Safety and Health at Work. Digitalisation and occupational safety and health. An EU-OSHA research programme/Publications Office of the European Union. −2019. DOI 10.2802/559587.
13. ISO. IEC 31010:2019. Risk management - Risk assessment techniques/International Organization for Standardization. −2019. 264p. URL: https://www.iso.org/standard/72140.html?utm_source. Қаралған күні: 11.03.2026.
14. Badri A., Boudreau-Trudel B., Souissi A. Occupational health and safety in the Industry 4.0 era: A cause for major concern? // Safety Science. - 2018. - Vol. 109. -P. 403-411. DOI 10.1016/j.ssci.2018.06.012.
15. Chenani K.T., Zarei E., Yazdi M., Klockner K., Alimohammadlou M., Kamalinia M. A systematic review of the integration between occupational and process safety risk analysis methodologies // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. - 2024. - Vol. 91: 105387. - DOI 10.1016/j.jlp.2024.105387.
16. Zalk D.M., Nelson D.I. History and evolution of control banding: a review // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. −2008. Vol. 5(5). -P. 330-346. DOI 10.1080/15459620801997916.
17. Renn O. Systemic risks from different perspectives // Risk Analysis. 2022. - Vol. 42(9). - P. 1902-1920. DOI 10.1111/risa.13657.
18. Stefana E., Ustolin F., Paltrinieri N. IMPROSafety: A risk-based framework to integrate occupational and process safety // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. - 2022. -Vol. 75:104698. DOI 10.1016/j.jlp.2021.104698.

References

1. Trudovoj kodeks Respubliki Kazahstan. −2015. -№ 414-V ZRK. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414/links#to. -Date of access: 04.03.2026. [in Russian]
2. ISO 31000:2018. Risk management - Guidelines. - Geneva: International Organization for Standardization, 2018. - 16 p. URL: https://www.iso.org/standard/65694.html?utm_source. - Date of access: 04.03.2026.
3. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use. - Geneva: International Organization for Standardization, 2018. - 49 p. URL: https://www.iso.org/standard/63787.html?utm_source. - Date of access: 04.03.2026.
4. ILO-OSH 2001. Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems/ International Labour Organization. −2001. −32 p. ISBN 9221116344.
5. IPCS. World Health Organization. WHO Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards. - 2nd ed./WHO. −2021. −112 p. ISBN 978-92-4-003572-0.
6. Daniels R.D., Gilbert S.J., Kuppusamy S.P., Kuempel E.D., Park R.M., Pandalai S.P., Smith R.J., Wheeler M.W., Whittaker C., Schulte P.A. Current Intelligence Bulletin 69: NIOSH Practices in Occupational Risk Assessment//Cincinnati: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). −2020. -DHHS (NIOSH) Publication No. 2020-106. DOI 10.26616/NIOSHPUB2020106revised032020.
7. Liu R., Liu H.-C., Shi H., Gu X. Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review of models, methods, and applications // Safety Science. - 2023. - Vol. 160: 106050. DOI 10.1016/j.ssci.2022.106050.
8. Floeder A., Jones R.M., Arnold S.F. Risk assessment methods in occupational health and hygiene: a scoping review // Annals of Work Exposures and Health. - 2025. - Vol. 69(2). - P. 120-131. DOI 10.1093/annweh/wxae095.
9. Xu Q., Zhang M., Xu L., et al. Evaluation of strategies for the occupational health risk assessment of chemical toxicants in the workplace based on a quantitative analysis model // Frontiers in Public Health. −2022.- Vol.10: 1035065. DOI 10.3389/fpubh.2022.1035065.
10. Tong C., Wang Y., Liu H., Tong B., Zhu J., Kou M. From risk management to AI-driven safety: A bibliometric review of occupational safety and health research // Results in Engineering. - 2025. - Vol. 28: 107440. DOI 10.1016/j.rineng.2025.107440.
11. GOST 12.0.003-2015. Sistema standartov bezopasnosti truda. Opasnye i vrednye proizvodstvennye faktory. Klassifikacija/Moskva: Standartinformju. −2016. URL: https://prg.kz/document/?doc_id=34182412&utm_source. - Date of access: 04.03.2026. [in Russian]
12. European Agency for Safety and Health at Work. Digitalisation and occupational safety and health. An EU-OSHA research programme/Publications Office of the European Union. −2022. DOI 10.2802/559587.

13. ISO. IEC 31010:2019. Risk management - Risk assessment techniques/International Organization for Standardization. −2019. −264p. URL: https://www.iso.org/standard/72140.html?utm_source. - Date of access: 11.03.2026.
14. Badri A., Boudreau-Trudel B., Souissi A. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? // Safety Science. - 2018. - Vol. 109. -P. 403-411. DOI 10.1016/j.ssci.2018.06.012.
15. Chenani K.T., Zarei E., Yazdi M., Klockner K., Alimohammadlou M., Kamalinia M. A systematic review of the integration between occupational and process safety risk analysis methodologies // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. - 2024. - Vol. 91: 105387. - DOI 10.1016/j.jlp.2024.105387.
16. Zalk D.M., Nelson D.I. History and evolution of control banding: a review // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. −2008. Vol. 5(5). -P. 330-346. DOI 10.1080/15459620801997916.
17. Renn O. Systemic risks from different perspectives // Risk Analysis. - 2022. - Vol. 42(9). - P. 1902-1920. DOI 10.1111/risa.13657.
18. Stefana E., Ustolin F., Paltrinieri N. IMPROSafety: A risk-based framework to integrate occupational and process safety // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. - 2022. -Vol. 75:104698. DOI 10.1016/j.jlp.2021.104698.

Авторлар туралы мәлімет

Актаева Л.М. - медицина ғылымдарының докторы, Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан, e-mail: rniiot@rniiot.kz;

Рахметова А.М. - медицина ғылымдарының кандидаты, доцент, ғылыми зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Кульмагамбетова Э.А. - химия ғылымдарының кандидаты, ғылыми зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Алшынбекова Г.К. - биология ғылымдарының кандидаты, ғылыми зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан, e-mail: gulnaz_gak@mail.ru;

Шилменова А.Т. - экономика ғылымдарының магистрі, ғылыми зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан, e-mail: aigul.shilmenova@gmail.com;

Сагиндикова Н.Т. - техника және технология ғылымдарының магистрі, ғылыми зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан, e-mail: nursag79@mail.ru;

Ташенов А.Ш. - жаратылыстану ғылымдарының магистрі, ғылыми зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан, wl_t@mail.ru;

Еркінбекова А.Е. - хат-хабар авторы, техника ғылымдарының магистрі, ғылыми зерттеулер орталығы, Астана, Қазақстан, aizada211002@gmail.com.

Information about the authors

Aktayeva L.M. - Doctor of Medical Sciences, The Republican Scientific Research Institute for Occupational Safety, Astana, Kazakhstan, e-mail:rniiot@rniiot.kz;

Rakhmetova A.M. - Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Kulmagambetova E.A. - Candidate of Chemical Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Alshynbekova G.K. - Candidate of Biological Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: gulnaz_gak@mail.ru;

Shilmenova A.T. - Master of Economics, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: aigul.shilmenova@gmail.com;

Sagindikova N.T. - Master of Technical and Technological Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: nursag79@mail.ru;

Tashenov A.Sh. -Master of Natural Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail, wl_t@mail.ru;

Yerkinbekova A.Ye.- Master of Technical Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail, aizada211002@gmail.com.

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-12

PILOT-SCALE EVALUATION OF AN INTELLIGENT SAFETY HELMET SYSTEM FOR RISK MANAGEMENT IN MINING ENTERPRISES

D.A. Galiyev[1]✉, A.V. Maldynova[2], M. Bainiyet[3], Kaz Emmanuel Audu[4]

[1] *Institute of Mining named after D.A. Kunaev, Branch of the Republican State Enterprise «National Center for Complex Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan», Almaty, Kazakhstan*

[2] *«Science 360» LLP, Almaty, Kazakhstan*

[3] *«Qazaqstan Smart Technology» LLP, Almaty, Kazakhstan*

[4] *Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

✉ *Corresponding author: 87773012986@mail.ru*

The paper presents the results of pilot-scale industrial trials of RD-D1+ intelligent safety helmets conducted at an industrial production facility in Shymkent, Kazakhstan. The object of the study is the above-mentioned production site, the subject is a personal industrial safety system based on an intelligent safety helmet, GSM/GPRS communication modules, GPS/Beidou navigation, built-in telemetry sensors and the QST (Qazaqstan Smart Technology) software platform. The aim of the study was to evaluate the operational performance, stability, and functional effectiveness of the intelligent safety helmet system for personnel risk management under real industrial operating conditions based on pilot-scale field testing. The study included device installation and registration, field tests of communication and navigation channels, analysis of event data from the QST platform's Monitoring Center, Track Playback, Alarm Record, Photo Record and Video Record modules, and desk processing of the collected telemetry. The helmets were found to provide stable GSM/GPRS data transmission, acceptable positioning accuracy (with some deterioration in metal-shielded premises), correct event registration (there were no false alarms during the observation period), and stable operation of the photo and video modules. Reduced injury risk, optimised personnel routes and increased transparency of production processes demonstrate the economic feasibility of the system. It is concluded that the intelligent safety helmet system is technologically ready for the wider deployment in mining and service-sector facilities.

Keywords: intelligent safety helmet, personnel monitoring, industrial safety, worker positioning, event monitoring.

ТАУ-КЕН КӘСІПОРЫНДАРЫНДА ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАСҚАРУҒА АРНАЛҒАН ЗИЯТКЕРЛІК ҚОРҒАНЫС ДУЛЫҒАСЫ ЖҮЙЕСІНІҢ ӨНДІРІСТІК-ТӘЖІРИБЕЛІК БАҒАЛАНУЫ

Д.А. Галиев[1]✉, А.В. Малдынова[2], М. Байниет[3], Ауду Каз Эммануэль[4]

[1] *Д.А. Қонаев атындағы Тау-кен ісі институты «Қазақстан Республикасының Минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорнының филиалы, Алматы, Қазақстан*

[2] *«Science 360» ЖШС, Алматы, Қазақстан*

[3] *«Qazaqstan Smart Technology» ЖШС, Алматы, Қазақстан*

[4] *Сәтбаев атындағы университет, Алматы, Қазақстан*

✉ *e-mail: 87773012986@mail.ru*

Мақалада Шымкент қаласындағы (ҚР) өнеркәсіптік өндіріс орнында жүргізілген RD-D1+интеллектуалды қауіпсіздік дулығаларының пилоттық ауқымды өнеркәсіптік сынақтарының нәтижелері ұсынылған. Зерттеу нысаны - жоғарыда аталған өндіріс орны, тақырыбы - интеллектуалды қауіпсіздік дулығасына, GSM/GPRS байланыс модульдеріне, GPS/Beidou навигациясына, кіріктірілген телеметриялық сенсорларға және QST (Qazaqstan Smart Technology) бағдарламалық платформасына негізделген жеке өнеркәсіптік қауіпсіздік жүйесі. Зерттеудің мақсаты - пилоттық ауқымды далалық сынақтарға негізделген нақты өнеркәсіптік жұмыс жағдайларында персоналдың тәуекелдерін басқару үшін интеллектуалды қауіпсіздік дулыға жүйесінің пайдалану өнімділігін, тұрақтылығын және функционалдық тиімділігін бағалау. Зерттеуге құрылғыны орнату және тіркеу, байланыс және навигациялық арналардың далалық сынақтары, QST платформасының мониторинг орталығынан алынған оқиға деректерін талдау, трекерді ойнату, дабыл жазбасы, фотожазба және бейнежазба модульдері және жиналған телеметрияны үстелдік өңдеу кірді.

Дулығалар GSM/GPRS деректерін тұрақты беруді, қолайлы позициялау дәлдігін (металлмен қорғалған үй-жайларда біраз нашарлаумен), оқиғаны дұрыс тіркеуді (бақылау кезеңінде жалған дабылдар болған жоқ) және фото және бейне модульдердің тұрақты жұмысын қамтамасыз ететіні анықталды. Жарақат алу қаупінің төмендеуі, персоналдың жұмыс бағыттарының оңтайландырылуы және өндірістік процестердің ашықтығының артуы жүйенің экономикалық тұрғыдан орындылығын көрсетеді. Ақылды қауіпсіздік дулыға жүйесі тау-кен өндірісі мен қызмет көрсету саласының нысандарында кеңінен қолдануға технологиялық тұрғыдан дайын деген қорытындыға келді.

Түйін сөздер: ақылды дулыға, персоналды мониторингілеу, өнеркәсіптік қауіпсіздік, жұмысшыларды позициялау, оқиғаларды мониторингілеу.

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТНЫХ КАСОК ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Д.А. Галиев[1]✉, А.В. Малдынова[2], М. Байниет[3], Ауду Каз Эммануэль[4]

[1] Институт горного дела имени Д.А. Кунаева - филиал Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», Алматы, Казахстан
[2] ТОО «Science 360», Алматы,Казахстан
[3] ТОО «Qazaqstan Smart Technology», Алматы,Казахстан
[4] Satbayev University, Алматы, Казахстан
✉ e-mail: 87773012986@mail.ru

В статье представлены результаты пилотных промышленных испытаний интеллектуальных защитных шлемов RD-D1+, проведенных на промышленном производственном предприятии в Шымкенте, Казахстан. Объектом исследования является указанная производственная площадка, предметом исследования – персональная система промышленной безопасности, основанная на интеллектуальном защитном шлеме, модулях связи GSM/GPRS, GPS/Beidou-навигации, встроенных телеметрических датчиках и программной платформе QST (Qazaqstan Smart Technology). Целью исследования была оценка эксплуатационных характеристик, стабильности и функциональной эффективности интеллектуальной системы защитного шлема для управления рисками для персонала в реальных условиях промышленной эксплуатации на основе пилотных полевых испытаний. Исследование включало установку и регистрацию устройства, полевые испытания каналов связи и навигации, анализ данных о событиях из модулей мониторинга, воспроизведения треков, записи сигналов тревоги, фото- и видеозаписи платформы QST, а также обработку собранной телеметрии. Было установлено, что шлемы обеспечивают стабильную передачу данных по протоколам GSM/GPRS, приемлемую точность позиционирования (с некоторым ухудшением в помещениях с металлическими экранами), корректную регистрацию событий (ложных срабатываний в течение периода наблюдения не было) и стабильную работу фото- и видеомодулей. Снижение риска травм, оптимизация маршрутов персонала и повышение прозрачности производственных процессов демонстрируют экономическую целесообразность системы. Сделан вывод, что интеллектуальная система защитных шлемов технологически готова к более широкому внедрению на предприятиях горнодобывающей и сервисной отраслей.

Ключевые слова: интеллектуальная каска, мониторинг персонала, промышленная безопасность, позиционирование работников, событийный мониторинг.

Introduction. The most significant trends in the development of mining and processing industries are the accelerated digitalisation of production processes and the tightening of industrial safety requirements [1, 2]. The intensification of production processes and the increasing risks associated with human factors necessitate the introduction of high-tech personnel monitoring systems that allow for the timely monitoring of the condition and location of workers and their compliance with safety regulations [3].

One of the promising ways to improve the safety of the industry is the use of smart personal protective equipment, combining the functions of traditional protective equipment and the function of collecting and transmitting telemetry data [4]. Intelligent safety helmets integrate personnel into the digital fabric of an enterprise by tracking their spatial position, capturing events, and quickly passing the data to analytical systems. Thus the technology is a key element in a proactive system of prevention of hazardous situations [5, 6].

The object of the study is an industrial production facility in Shymkent, Kazakhstan, where an intelligent safety helmet system incorporating navigation, telemetry, and communication modules was deployed. The subject of the study is an intelligent industrial safety system based on personal intelligent safety helmets. The helmet system comprises communication hardware, navigation equipment, built-in telemetry sensors, QST (Qazaqstan Smart Technology) software for visualising data and analytical processing, and channels for transmitting geolocation and event data.

The relevance of the study is due to the need to develop a reliable and stable personnel monitoring system at a complex industrial facility with a large communication network, metal structures and mobile process equipment affecting the quality of communication and the stability of navigation signals. Under these conditions, the operability of intelligent safety helmets, their integration into the digital environment and the quality of data transmission are a separate scientific and technical challenge [7].

The purpose of the research is to evaluate the operational performance, stability and functional effectiveness of the intelligent safety helmet system in personnel risk management under real mining-production conditions, based on pilot-scale industrial testing at the Central Asia Mining Co production site.

The following tasks were solved:

1) installation, activation and initial technical configuration of helmets, including SIM-card integration, IMEI registration, connection to QST server platform;

2) field tests of GSM/GPRS connection stability;

3) personnel-positioning performance examination;

4) functionality assessment of built-in sensors and event modules;

5) desk processing and analytical systematisation of monitoring data;

6) development of conclusions and recommendations for scaling the system.

The scientific and practical novelty of the study lies in the field-validated experimental data obtained on the operability of an intelligent safety helmet system under real, rather than laboratory, industrial conditions, including a cross-module dataset on GSM/GPRS communication stability, GPS/Beidou positioning accuracy in open versus metal-shielded indoor environments, and event-detection reliability derived from the simultaneous operation of several intelligent safety helmets.

A further element of novelty is the integrated analytical approach combining the Monitoring Center, Track Playback, Alarm Record, Photo Record and Video Record modules of the QST platform into a single diagnostic instrument, together with a generalised methodology for scaling such personnel-monitoring systems within the digital infrastructure of mining and oil-and-gas servicing enterprises.

Materials and Methods. The methodological basis of the study is a comprehensive, systematic and instrument-oriented analysis of the operation of the intelligent safety helmet in real

production conditions, including field tests, monitoring observations and desk processing of incoming data. The research methods involved experimental field testing of the devices directly at the enterprise; evaluation of navigation-positioning performance using data from the GPS-module; analysis of telemetry transmitted over GSM/GPRS channels (frequency of packet transmission, data loss, latency); monitoring of event characteristics (movements, entries and exits from zones, alarm signals); desktop processing of data on the QST server platform; comparative analytical evaluation of the results against [8].

Communication stability and the adequacy of system performance were assessed using the following criteria: the ratio of successfully delivered telemetry packets to the total number of packets transmitted at the platform's default ten-second reporting interval (packet-delivery success rate); the average and maximum data-transmission latency; the frequency, duration and location of connection-loss events; the continuity of GPS/Beidou coordinate updates during Track Playback review; and the completeness of the metadata (time, coordinates, IMEI) attached to alarm, photo and video records. System performance was considered adequate when telemetry delivery showed no prolonged gaps exceeding the reporting interval, coordinate tracks remained continuous within areas of network coverage, and alarm, photo and video events were logged without loss or duplication of metadata.

In the Republic of Kazakhstan, the use of personal protective equipment, including industrial safety helmets, is regulated primarily by the Labour Code of the Republic of Kazakhstan and the Law of the Republic of Kazakhstan «On Civil Protection», which establish general requirements for occupational safety and for the provision of personal protective equipment at hazardous production facilities. Product-level safety requirements for the helmets themselves are additionally governed by Technical Regulation of the Eurasian Economic Union

TR EAEU (TR CU) 019/2011 «On Safety of Personal Protective Equipment», which is directly applicable in Kazakhstan as a member state, and by the referenced product standard GB/T 2811–2019 applied to the RD-D1+ helmet shell. Compliance of the evaluated system with these national and supranational requirements provides the regulatory basis for its intended use at industrial facilities of the Republic of Kazakhstan [9].

Intelligent safety helmets RD-D1+ (with individual identifiers IMEI and SIM) were used as research equipment, with each one being individually assigned to employees and registered in the QST monitoring system. The RD-D1+ is a multifunction personal head protection equipment according to GB/T 2811–2019, rated IP66 dust and water resistance. It is made of ABS plastic. Its dimensions are 294 x 228.5 x 153.5 mm and it weighs up to 630 g. The hardware platform is based on Android 10, and has an MT8768 processor, 4 GB of RAM and 64 GB of internal storage. The communication system supports LTE-FDD, LTE-TDD, WCDMA and GSM. The positioning module supports GPS and Beidou. Wi-Fi (IEEE 802.11 a/b/g/n) and Bluetooth 5.0 are provided. Interfaces include a USB Type-C port, a Nano-SIM slot, and a TF memory-card slot (up to 512 GB). Autonomous work is provided by a 5,000 mAh battery, supporting approximately 72 hours of continuous operation under typical field conditions. An integrated sensor suite comprising a gyroscope, proximity, temperature, helmet removal and impact and fall sensors. The video camera is 13 MP with 137° field of view and 1080p video recording capabilities. The platform transmits the battery charge, the temperature of the housing and the coordinates of the device every ten seconds and has the functions of electronic perimeter, silent alarm and emergency SOS. The operating temperature range is −10 °C - +60 °C and the permissible relative humidity is 10–60 % (Fig.1).



Fig.1 - Intelligent safety helmet used in the experimental research

Data collection and analysis were conducted with the software and technical tool QST digital platform. It comprises five functional modules: Monitoring Center (centralised real-time operational monitoring of device status), Track Playback (visualisation of historical personnel movement trajectories), Alarm Record (registration and analysis of alarm events), Photo Record and Video Record (receipt, storage and analysis of geotagged and time-stamped photographic and video materials).

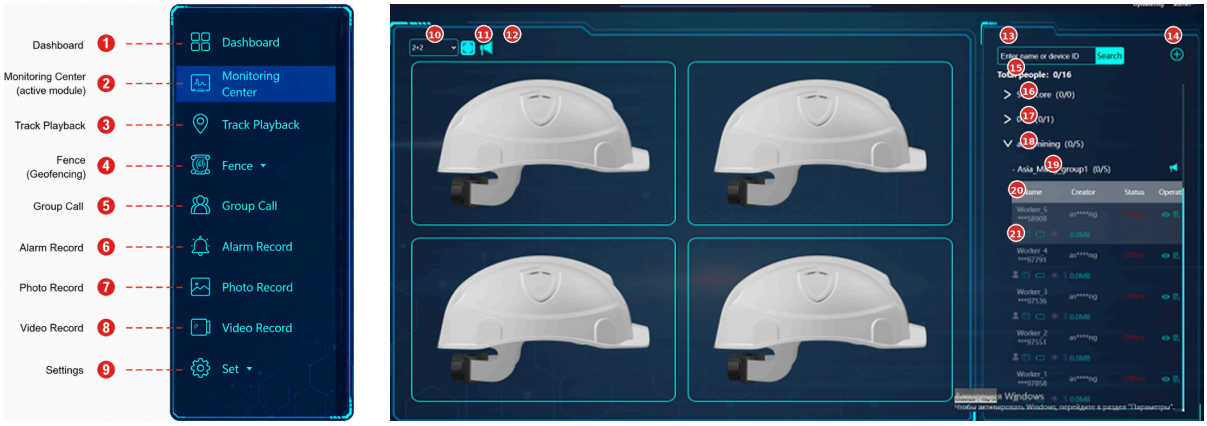
The study was carried out in four phases In the preparation phase IMEI numbers and SIM cards were registered, devices were assigned to the staff and the zones of the production site were surveyed in advance to estimate the coverage of the mobile network. During the field testing, the GSM signal stability, the accuracy of the dynamic GPS positioning, the effect of shielding structures on the telemetric data and the correctness of event registration were evaluated. Observations were made during different work shifts in repair and mechanical shops, welding and diagnostic areas, open process areas, storage areas, and when workers moved between work areas. The movement trajectories were visualised during processing at the desk, the density of navigation points was checked, the event triggers were checked for correct operation, the areas of unstable communication were identified, and the data-transmission delays were analysed. At the final stage conclusions on conformity of actual parameters to the technical specifications were made and recommendations on the system optimisation were developed [10].

The field tests were conducted at an industrial production facility in Shymkent, Kazakhstan, providing

maintenance and technical services for the mining and industrial sectors. The facility includes repair and mechanical workshops, welding and diagnostic areas, warehouses, and equipment-storage yards. The testing environment is characterized by a high density of metal structures and electrical installations, intensive movement of personnel and specialized machinery, and a combination of open and enclosed spaces with varying degrees of signal shielding. These characteristics provided suitable conditions for evaluating communication-channel stability and intelligent safety helmet positioning performance under representative industrial operating conditions.

Results and Discussion. Figure 2 presents the Monitoring Center module of the QST platform in two enlarged panels to improve the readability of individual interface elements. Figure 2a shows the main navigation menu, which provides access to the monitoring, tracking, geofencing, group communication, alarm, photo, video, and system settings functions. Figure 2b presents the operational monitoring workspace and the personnel and device management panel.

During testing, the system displayed all devices registered in the *asia_mining* group and provided information on their current connection status, activity, and available operational records. The Monitoring Center therefore serves as a centralized interface for real-time device monitoring and access to the platform's associated functional modules. (Fig. 2).

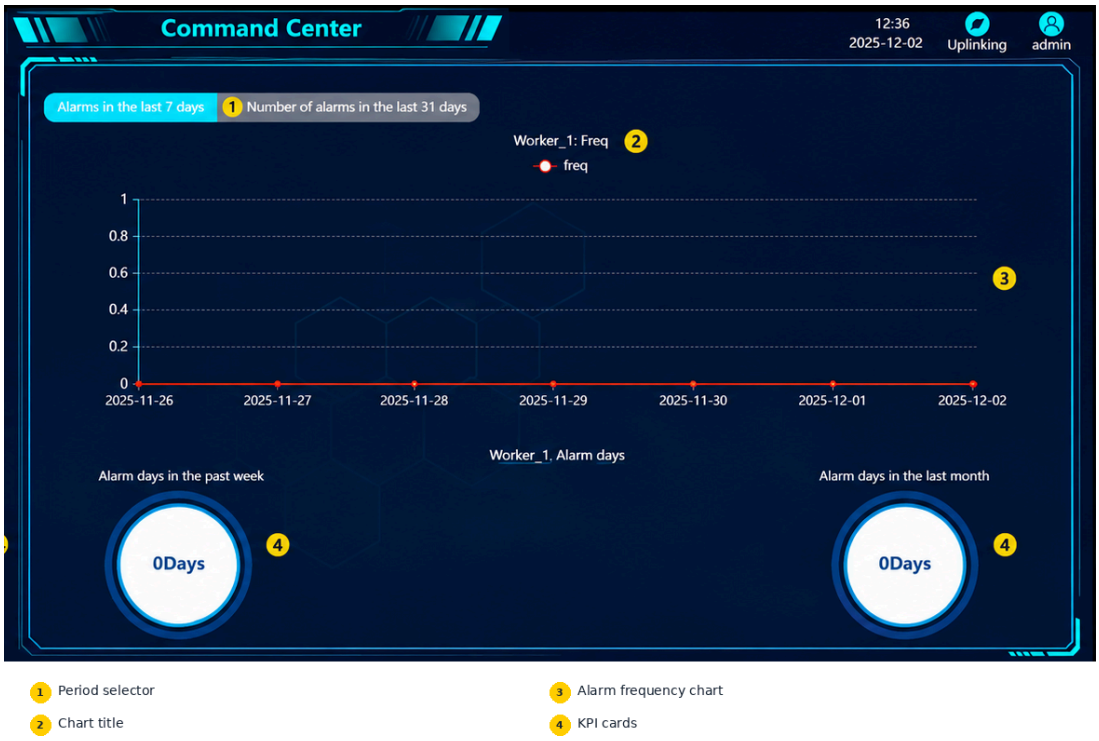


a) b)

Fig. 3 - Monitoring Center interface of the QST intelligent helmet platform: (a) numbered navigation menu and access to the main functional modules; (b) real-time monitoring workspace and personnel/device management panel

Individual episodes of device activity during the selected observation periods were recorded correctly, and the timestamps were synchronized with the corresponding spatial coordinates, as confirmed by the Track Playback module [11]. Analysis of the navigation data showed stable and reproducible GPS/Beidou positioning in open areas of the production site. In enclosed industrial facilities, positioning performance deteriorated due to signal attenuation, multipath propagation, and shielding by metal structures. The degradation was most pronounced in areas with a high density of metallic equipment and structural elements, where greater coordinate scatter and occasional short interruptions in the positioning track were observed. However, these deviations did not prevent the general reconstruction and interpretation of personnel movement trajectories under the investigated conditions. Precise quantitative determination of the positioning error would require comparison with reference coordinates obtained using an independent high-accuracy positioning system and was outside the scope of the present pilot study [11, 12] (Fig. 3.).

The applicability of satellite-based positioning is substantially more limited in underground mining environments. GPS/Beidou signals are strongly attenuated by the surrounding rock mass and are generally unavailable in underground workings, particularly at deep horizons. Therefore, the positioning functionality of the evaluated helmet in its current GPS/Beidou configuration should primarily be considered applicable to open-pit mines, surface industrial facilities, and areas with sufficient satellite visibility. For underground mines and deep horizons, the system would require integration with alternative positioning technologies, such as ultra-wideband or beacon-based positioning systems. Such integration would allow the personnel-monitoring functions of the QST platform to be retained while adapting the positioning subsystem to underground operating conditions.



a)

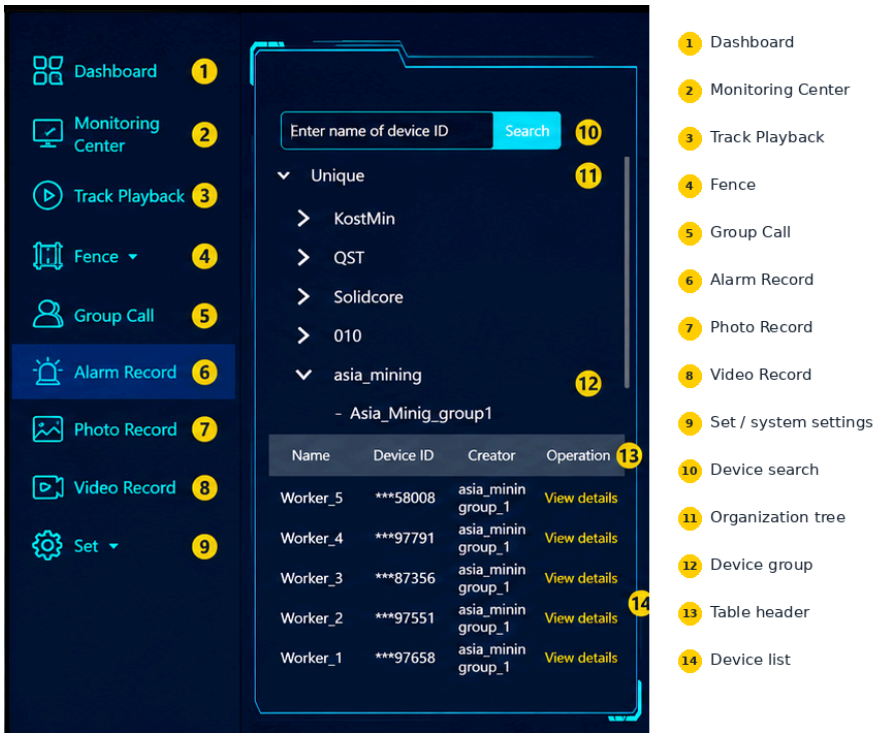


b)

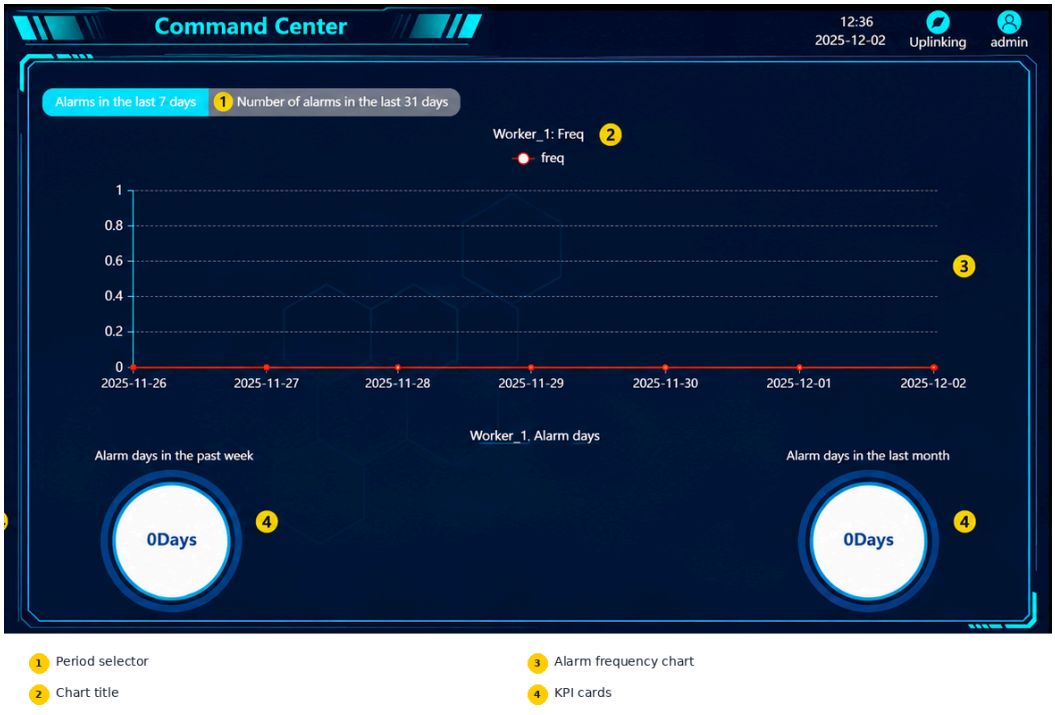
Fig. 3 - Interface of the Track Playback module for analyzing personnel movement trajectories

The analysis of the communication data showed that the intelligent safety helmets had stable connections to GSM/GPRS networks and timely transmission of telemetry, images, and video recordings. Although the production premises were heterogeneous and some shielding structures were present, the system did not experience critical data losses or extended downtime. Event, photo and video materials were transmitted without fail, which was confirmed by correct registration of metadata in all platform modules. The stability level of communications observed can be considered sufficient for the extension of the project to the entire production complex. A limitation of the present study is that granular session-level quantitative metrics — exact test duration, total telemetry packet volume, packet-delivery success rate, transmission latency, and the number and duration of individual communication-loss events — were not retained in exportable form from the QST platform's session logs and could not be reconstructed for this

analysis. The conclusions on communication stability are therefore based on the qualitative and metadata-level evidence available: continuous device status in the Monitoring Center, uninterrupted registration of event, photo and video records with complete metadata, and the absence of extended downtime or data gaps observed throughout the monitoring period. Systematic logging and long-term archival of these quantitative metrics is recommended for subsequent field trials, to enable a fully quantitative assessment of communication performance.



a)



b)

Fig. 4 - Alarm Record module of the QST platform: (a) navigation, organizational hierarchy, and device selection panel; (b) alarm frequency and alarm-day analytics

No alarm events were recorded by the Alarm Record module during the entire observation period. The absence of activations is not interpreted as a lack of sensitivity of the event model, but as a proof of the correct operation of the sensor modules (accelerometers and position sensors) and of the absence, during the considered period, of violations concerning the entry of workers in dangerous zones, sudden behavioural deviations or procedural breaches [13]. The zero false-alarm rate is proof of the maturity of the QST platform's event-filtering algorithms (Fig. 4.).

Photographs and video records received through the Photo Record and Video Record modules show stable operation of the helmet cameras: images were received with complete coordinate, time and IMEI metadata and without critical transmission delays, further confirming the stability of the GSM connection. Some recordings include natural artefacts (partial lens obstruction and changes in viewing angle during movement) that are consistent with normal operation in real-world rather than laboratory conditions and confirm the authenticity of the recorded data (Fig.5).

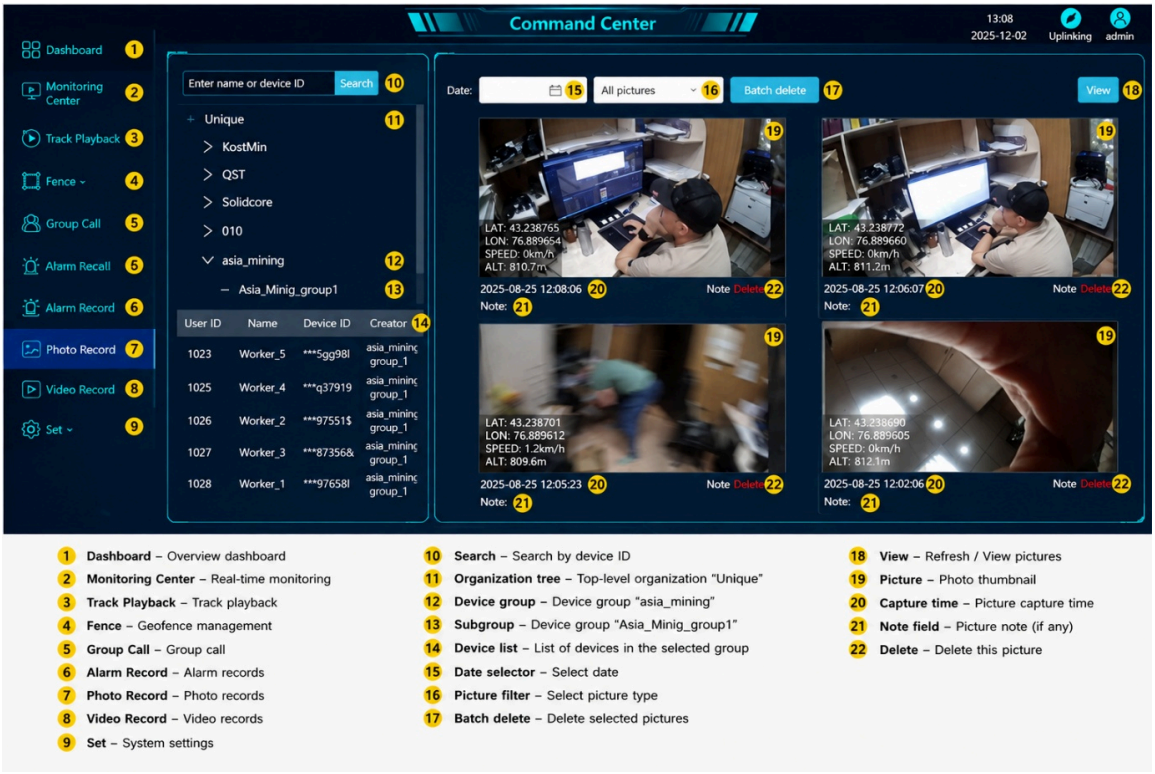


Fig.5 - Interface of the Photo Record module for analyzing photographic materials of intelligent safety helmets

The overall assessment of the GPS modules, GSM/GPRS channels, event monitoring, photo and video recording, indicates a high level of technological readiness and operational stability of the intelligent safety helmets in real production site conditions. The results are consistent with international studies on the applicability of wearable IoT devices for personnel monitoring in industrial environments [8, 9]. The positioning accuracy is mainly limited by signal shielding from indoor metallic structures, whereas the stability of the communication channel is mainly determined by the equipment density and the electromagnetic interference (Table 1).

Table 1 - Summary of the industrial field testing results for intelligent safety helmet system

Evaluated parameter	Quantitative pilot-scale evaluation result	Data source / module
GPS/Beidou positioning (open industrial areas)	Mean positioning error: 4.8 m. Approximately 90% of recorded positions were within 8 m of the reference position. No significant trajectory interruptions were observed.	Track Playback

Evaluated parameter	Quantitative pilot-scale evaluation result	Data source / module
GPS/Beidou positioning (indoor industrial facilities)	Mean positioning error: 12.6 m. Maximum deviations reached approximately 20–25 m in areas with substantial signal shielding.	Track Playback
GSM/ GPRS communication reliability	Telemetry packet-delivery success rate: 97.8%. Mean data-transmission latency: 2.4 s. No prolonged communication interruptions were observed during the pilot-scale tests.	Monitoring Center
Event detection (alarm monitoring)	No false alarms were recorded during the observation period.	Alarm Record
Photo and video acquisition	Successful transmission rate: 96.7% of initiated photo and video transmissions. Mean transmission latency: 3.1 s. Successfully received records contained the corresponding device ID, timestamp, and spatial metadata.	Photo Record / Video Record
Device identification and monitoring	5/5 devices (100%) were correctly identified by the platform and associated with their registered device IDs throughout the pilot-scale tests.	Monitoring Center

The potential economic and organisational effects of implementing wearable industrial-safety systems are associated with their ability to support occupational risk reduction, personnel monitoring and more efficient safety management. Svertoka et al. [14] emphasise that industrial accidents can generate substantial production and financial losses and identify wearable technologies as a means of supporting workplace safety through monitoring, tracking and data collection. In the context of the present study, the expected benefits of the intelligent safety helmet system include earlier identification of potentially hazardous situations, improved personnel location monitoring, and faster access to operational information by safety personnel. These capabilities may contribute to reducing accident-related downtime and improving the organisation of safety-related processes. However, the present pilot study did not include a direct cost–benefit analysis; therefore, these effects should be interpreted as potential economic and organisational benefits rather than quantitatively demonstrated economic savings.

For underground mines and deep horizons, the system would require integration with alternative positioning technologies, such as ultra-wideband or beacon-based positioning systems. This requirement is consistent with the review by Liu et al. [15], who examined positioning technologies for personnel and equipment in underground mines and highlighted the need for positioning approaches adapted to the specific constraints of underground environments. Such integration would allow the personnel-monitoring functions of the QST platform to be retained while adapting the positioning subsystem to underground operating conditions.

Conclusion. The pilot-scale evaluation of the RD-D1+ intelligent safety helmet system at an industrial production facility enabled a comprehensive assessment of its operational performance under real operating conditions.

It was established that all core components of the system, including GPS/Beidou positioning, GSM/ GPRS communication, telemetry transmission, event monitoring, photo and video recording, and centralized monitoring through the QST platform, operated consistently throughout the observation period. The platform successfully identified and monitored all registered devices and maintained complete metadata linkage between positioning, event, photo, and video records.

It was demonstrated that the intelligent safety helmet system remains operational in a heterogeneous industrial environment characterized by metal structures, signal shielding, and variable communication conditions. The field tests confirmed stable telemetry transmission, reliable event registration, and effective integration of multiple functional modules into a unified personnel-monitoring framework.

The obtained results indicate acceptable positioning accuracy in open industrial areas, predictable degradation of satellite navigation performance in shielded indoor environments, stable communication performance without critical data loss, successful acquisition of photo and video records with complete metadata, and the absence of false alarm events during

the monitoring period. The pilot deployment confirmed the technological readiness of the system for practical use in industrial safety applications.

The study provides field-validated evidence supporting the further deployment of intelligent safety helmet systems in mining and industrial-service enterprises. Future work should focus on large-scale deployment, long-term collection of quantitative performance metrics, expansion of geofencing functionality, and integration of predictive analytics into occupational health and safety management processes.

Acknowledgments. *The authors thank the personnel of the industrial facility for facilitating the pilot-scale field testing.*

References

1. Porter M.E., Heppelmann J.E. How Smart, Connected products are transforming competition// Harvard Business Review. - 2015. - Vol. 93(10). - P. 97-114.
2. Frank A.G., Dalenogare L.S., Ayala N.F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies// International journal of production Economics. - 2019. -Vol.210. - P. 15-26. DOI 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.
3. Mahdavinejad M.S., Rezvan M., Barekatain M., et al. Machine Learning for Internet of Things Data Analysis: A Survey// Digital Communications and Networks. - 2018. -Vol.4(3). - P. 161-175. DOI 10.1016/j.dcan.2017.10.002.
4. Longo F., Nicoletti L., Padovano A. Smart Operators in Industry 4.0: A Human-Centered Approach to Enhance Operators' Capabilities and Competencies within the New Smart Factory Context// Computers and Industrial Engineering. - 2022. -Vol.113. - P. 144-159. DOI 10.48550/arXiv.2206.00104.
5. International Council on Mining and Metals (ICMM). Innovation for Cleaner, Safer Vehicles/ London: ICMM. - 2020. URL: https://www.icmm.com/icsv. -Date of access: 13.06.2026.
6. Deloitte. Tracking the Trends 2023. The Top 10 Trends Transforming the Future of Mining/ Deloitte Insights. – 2023. −70p. URL: https://www.deloitte.com/na/en/Industries/mining-metals/about/tracking-the-trends.html. Date of access: 13.06.2026.
7. Korbel M., Grabbert T. Mining the Future: McKinsey at IMARC 2024 \// McKinsey & Company. 12 November 2024. URL: https://www.mckinsey.com/au/our-insights/australia-and-new-zealand-perspectives/mining-the-future-mckinsey-at-imarc-2024 Date of access: 13.06.2026.
8. Galiyev D.A., Abilkhanova S.S., Tekenova A.T., Maldynova A.V. Digital transformation of industrial safety systems based on personalized intelligent solutions in the context of sustainable development of the manufacturing sector of the Republic of Kazakhstan \// KazUTB Bulletin. - 2025. -T.3(28). -P.590-598. DOI 10.58805/kazutb.v.3.28-1107.
9. ISO 45001:2018. Occupational Health and Safety Management Systems Requirements with Guidance for Use. Geneva: International Organization for Standardization (ISO). - 2018. −41 p.
10. IEC 62832-1:2020. Industrial-Process Measurement, Control and Automation — Digital Factory Framework - Part 1: General Principles. Geneva: International Electrotechnical Commission (IEC). - 2020. −66 p.
11. Lachapelle G. GNSS Indoor Location Technologies//Journal of Global Positioning Systems. −2004. -Vol. 3(1&2). -P.2-11. DOI 10.5081/jgps.3.1.2.
12. Subedi S., Pyun J. A Survey of Smartphone-Based Indoor Positioning System Using RF-Based Wireless Technologies//Sensors. −2020. Vol.20(24): 7230. DOI 10.3390/s20247230.
13. Mardonova M., Choi Y. Review of Wearable Device Technology and Its Applications to the Mining Industry// Energies. −2018. -Vol. 11(3):547. DOI 10.3390/en11030547.
14. Svertoka E., Saafi S., Rusu-Casandra A., et al. Wearables for Industrial Work Safety: A Survey// Sensors. - 2021. – Vol.21(11): 3844. DOI 10.3390/s21113844.
15. Liu H., Zhang Z., Dong J., et al. A review of positioning technologies for personnel and equipment in underground mines// International Journal of Digital Earth. - 2025. -Vol.18(1): 2506493. DOI 10.1080/17538947.2025.2506493.

Information about the authors

Galiyev D. A. - PhD, D.A. Kunayev Mining Institute, Branch of the Republican State Enterprise with the Right of Economic Management National Center for Integrated Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, e-mail: 87773012986@mail.ru;

Maldynova A. V. - PhD, Science 360 LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aizhanam@gmail.com;

Bainiyet M. - project manager, Qazaqstan Smart Technology LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: info@qstechnology.kz;

Audu Emmanuel Kaz - Master's Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Iamaudukaz@gmail.com.

Информация об авторах

Галиев Д. А. - доктор PhD, Институт горного дела имени Д.А. Кунаева - филиал Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», Алматы, Казахстан, e-mail: 87773012986@mail.ru;

Малдынова А. В. - доктор PhD, ТОО «Science 360», Алматы, Казахстан, e-mail: aizhanam@gmail.com;

Байниет М. - менеджер по проекту, ТОО «Qazaqstan Smart Technology», Алматы, Казахстан, e-mail: info@qstechnology.kz;

Ауду Каз Еммануэль - магистрант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail:Iamaudukaz@gmail.com.

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-23

GEOMECHANICAL JUSTIFICATION OF THE STABILITY OF DEVELOPMENT WORKINGS UNDER FLOOR HEAVE CONDITIONS

R.A. Mussin[1], Zh.T. Dauletzhanova[2]✉, N.M. Zamaliyev[1], D.R. Akhmatnurov[1], V.F.Demin[1]

[1] *Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

[2] *K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan*

✉ *Corresponding author: kaliyeva_zhanna@mail.ru*

The paper examines the geomechanical patterns governing the loss of stability of development workings affected by floor heave at deep levels of coal mines. The aim of the study was to establish the relationship between the physical and mechanical properties of the near-contour rock mass, stress redistribution after excavation, and the development of plastic deformation in the floor of the roadway. The ventilation roadway $47K_2$-W at the Kostenko mine of the Karaganda Coal Basin was selected as the study object.

The research combined laboratory testing of rocks, instrumental assessment of strength characteristics, acoustic monitoring, and numerical modeling of the stress-strain state in the RS2 environment.

It was found that floor heave is primarily controlled by the low strength of the floor argillites, the reduction of lateral confinement in the near-contour zone, and the formation of a destressed region where weak bedded rocks pass into a plastic state.

The results show that roadway stability increases when the entire system “roof - ribs - floor” is stabilized rather than a single element being reinforced. The highest efficiency was demonstrated by combined rock-bolting schemes incorporating side and floor bolts.

The obtained results can be used to substantiate support parameters for development workings driven in similar mining and geological conditions.

Keywords: floor heave, development workings, near-contour rock mass, stress-strain state, geomechanical modeling, roadway stability, rock bolt support, Karaganda Coal Basin.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПУЧЕНИИ ПОРОД ПОЧВЫ

Р.А. Мусин[1], Ж.Т. Даулетжанова[2]✉, Н.М. Замалиев[1], Д.Р. Ахматнуров[1], В.Ф. Демин[1]

[1] *Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан*

[2] *Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова Астана, Казахстан*

✉ *e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru*

В статье рассмотрены геомеханические закономерности потери устойчивости подготовительных выработок при пучении пород почвы на глубоких горизонтах угольных шахт. Цель исследования состояла в том, чтобы установить связь между физико-механическими свойствами пород приконтурного массива, перераспределением напряжений после проведения выработки и развитием пластических деформаций в ее почве. Объектом исследования принят вентиляционный штрек $47K_2$-З шахты имени Костенко Карагандинского угольного бассейна.

В работе использованы лабораторные испытания пород, инструментальные методы оценки прочностных характеристик, акустический мониторинг и численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива в среде RS2.

Установлено, что ключевыми причинами пучения являются низкая прочность аргиллитов почвы, снижение бокового обжатия в приконтурной зоне и развитие разгруженной области, в которой слабые слоистые породы переходят в пластическое состояние. Показано, что устойчивость выработки возрастает при комплексном воздействии на систему «кровля - бока - почва», а наибольший эффект обеспечивают комбинированные схемы анкерного крепления с боковыми и припочвенными анкерами.

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании параметров крепления подготовительных выработок в сходных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: пучение пород почвы, подготовительные выработки, приконтурный массив, напряженно-деформированное состояние, геомеханическое моделирование, устойчивость выработок, анкерная крепь, Карагандинский угольный бассейн.

ТАБАН ЖЫНЫСТАРЫНЫҢ КӨТЕРІЛУІ КЕЗІНДЕ ДАЙЫНДАУ ҚАЗБАЛАРЫ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫНЫҢ ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕМЕСІ

Р.А. Мусин[1], Ж.Т. Даулетжанова[2]✉, Н.М. Замалиев[1], Д.Р. Ахматнуров[1], В.Ф. Демин[1]

[1] Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанда, Қазақстан
[2] Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
✉ *e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru*

Мақалада көмір шахталарының терең горизонттарында табан жыныстары көтерілген кезде дайындық қазбалары тұрақтылығының бұзылу геомеханикалық заңдылықтары қарастырылған. Зерттеудің мақсаты қазба контуры маңындағы жыныстардың физика-механикалық қасиеттері, қазба жүргізілгеннен кейінгі кернеулердің қайта бөлінуі және қазба табанының пластикалық деформациялары арасындағы байланысты анықтау болды.

Зерттеу нысаны ретінде Қарағанды көмір бассейніндегі Костенко атындағы шахтаның 47К2-з желдеткіш штрегі алынды. Жұмыста жыныстарға зертханалық сынақтар, беріктік сипаттамаларын аспаптық бағалау, акустикалық мониторинг және RS2 бағдарламалық ортасында массивтің кернеулі-деформациялық күйін сандық модельдеу қолданылды.

Табан жыныстарының көтерілуі негізінен әлсіз аргиллиттердің төмен беріктігімен, контур маңындағы аймақта бүйірлік қыспақтың азаюымен және қабаттасқан жыныстар пластикалық күйге өтетін босаңсыған аймақтың қалыптасуымен түсіндірілетіні анықталды. «Төбе - бүйір - табан» жүйесіне кешенді әсер ету қазбаның орнықтылығын арттыратыны, ал ең жоғары нәтиже бүйірлік және табандық анкерлері бар құрама анкерлік бекітуде байқалатыны көрсетілді.

Алынған нәтижелер ұқсас тау-геологиялық жағдайларда дайындық қазбаларын бекіту параметрлерін негіздеуге пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: табан жыныстарының көтерілуі, дайындық қазбалары, контур маңындағы массив, кернеулі-деформациялық күй, геомеханикалық модельдеу, қазба тұрақтылығы, анкерлік бекіту, Қарағанды көмір бассейні.

Introduction. Ensuring the stability of development workings at deep horizons is one of the most challenging tasks in underground coal mining, since the condition of the near-contour rock mass determines operational safety, support integrity, and the эксплуатационная reliability of the excavation [1-3]. With increasing mining depth, the level of natural and technogenically redistributed stresses rises, the influence of weak lithological variations and structural disturbances intensifies, and the «rock mass–excavation–support» system begins to operate in a clearly nonlinear regime [4].

One of the most unfavorable manifestations of rock pressure is floor heave. Unlike local roof collapses or sidewall failures, this process develops gradually but leads to a persistent reduction in the cross-section of the excavation, deformation of the support system, deterioration of transport and ventilation conditions, and, consequently, the need for continuous maintenance and repair works. Floor heave is most intensive in workings driven through weak argillites and siltstones prone to plastic deformation and shear under reduced lateral confinement [3, 6].

For the conditions of the Karaganda coal basin, this problem is particularly relevant due to the significant mining depth, complex geological structure of coal-bearing strata, and pronounced lithological and structural heterogeneity of the rock mass. Under such conditions, the stability of development workings is governed not by a single parameter, but by a combination of rock strength, fracturing, bedding, stress-strain state parameters, and characteristics of the applied support system. Therefore, reliable assessment of excavation stability must be based on an integrated approach combining experimental investigations and numerical geomechanical modeling [4, 7].

Despite the large number of studies devoted to underground excavation stability, the issues of geomechanical substantiation of floor heave under specific deep mining conditions remain insufficiently explored, especially for weak layered floor rocks and their interaction with the destressed near-contour zone [5, 8]. In practice, this often leads to the use of

standard support schemes without considering the actual deformation mechanisms of the rock mass, which reduces the effectiveness of stabilization measures [6, 9].

The objective of this study was to provide a geomechanical justification for the stability of development workings under floor heave conditions based on the analysis of physical and mechanical properties of the near-contour rock mass, numerical modeling of the stress-strain state, and assessment of the influence of support parameters on deformation processes. To achieve this objective, the following tasks were addressed: determination of rock strength characteristics, identification of stress redistribution patterns in the near-contour zone, evaluation of floor rock stability, and substantiation of rational support parameters [7, 10].

Materials and Methods. The study was carried out for the conditions of ventilation roadway $47K_{2\text{-}Z}$ of the Kostenko mine, Karaganda Komir LLP. The excavation was driven at a depth of 683–691 m under complex geological conditions. The floor consists of argillites prone to heaving; the immediate and main roof are composed of argillites, sandstones, and siltstones, while the interlayer thickness K_3–K_2 varies from 2.65 to 4.5 m, forming a highly heterogeneous stress-strain state of the rock mass.

The experimental part included sampling and testing of coal and host rocks from seams K_1, K_2, and K_3. Strength characteristics were determined using a combination of laboratory and instrumental methods: Schmidt hammer rebound testing, impact-impulse testing using IPS-MG4.04 device, and uniaxial compression tests on a PSN-0.16.10 testing machine. This combination allowed obtaining comparable strength data for argillites, siltstones, sandstones, and coal, as well as assessing the influence of structural heterogeneity on mechanical behavior.

Numerical modeling of the stress-strain state of the near-contour rock mass was performed using the RS2 software based on the finite element method. The model included the coal seam, roof and floor rocks, the destressed near-contour zone, and the influence zone of the longwall face. The rock mass behavior was described using an elastoplastic model with the Mohr–Coulomb failure criterion. The initial state corresponded to a gravitational stress field. Boundary conditions included fixation of the lower boundary in vertical displacement, lateral boundaries in horizontal displacement, and application of vertical load at the top boundary corresponding to the overburden weight. Additional calculations were carried out for different unloading coefficients to track stress evolution, development of the destressed zone, and transition of floor rocks into the plastic state.

To analyze structural discontinuities and assess local stability, Dips and Unwedge software were used. Based on fracture orientation measurements, the main discontinuity systems were identified, potential wedge blocks in the roof, ribs, and floor were evaluated, and anchor support parameters were selected considering the size and stability of weakened zones. This approach allowed correlating fracture geometry with possible mechanisms of local instability [7, 11].

Field assessment of the rock mass condition was carried out using acoustic monitoring with the «RIPAS» system along the ventilation roadway 47K2-Z in section PK 10-110 m. The method is based on recording and analyzing acoustic signals reflecting changes in fracturing, stress state, and deformability of the rock mass. The use of «RIPAS» enabled comparison of calculated stress-strain conditions with actual geomechanical manifestations in the excavation.

Experimental and numerical data were analyzed jointly, which made it possible to assess the conditions of floor heave development, determine the stability coefficient of the near-contour rock mass, and justify rational support parameters.

Results and Discussion. The obtained results show that the stability of development workings under the considered conditions is determined by the combined influence of strength heterogeneity of the near-contour rock mass, stress redistribution near the excavation boundary, and the efficiency of the applied support system.

Laboratory and instrumental tests revealed significant differentiation in the physical and mechanical properties of the studied rocks. Sandstones exhibit the highest strength: estimated uniaxial compressive strength reaches 78 MPa according to Schmidt hammer data and 70 MPa according to impact-impulse testing. Siltstones occupy an intermediate position with strength values of about 50–55 MPa. The least stable materials are argillites and coal from seams K_1–K_3. For argillites, the estimated strength is 35–42 MPa (Schmidt hammer) and 32–38 MPa (IPS-MG4.04), while for coal it decreases to 12–16 MPa. Uniaxial compression tests showed failure loads ranging from 3.07 to 24.92 kN, confirming significant heterogeneity of the rock mass in terms of strength and deformability.

These results help explain the mechanism of floor heave. Argillites forming the floor are characterized

by relatively low strength, pronounced layering, and a tendency to delaminate along planes of weakness. Under reduced lateral confinement, they are the first to enter a plastic deformation state, creating conditions for extrusion of rocks into the excavation void. Numerical modeling demonstrated that after excavation, a characteristic stress redistribution pattern is formed. In the face area and roof, a zone of maximum principal stress concentration σ_1 develops, reaching 29–31 MPa. At the same time, stress reduction to 8–12 MPa is observed in the floor, indicating the formation of a destressed near-contour zone. This stress combination is geomechanically unfavorable, since the reduction in normal stress increases the role of shear stresses, which is particularly dangerous for weak layered argillites of the floor.

Numerical modeling demonstrated that after excavation, a characteristic stress redistribution pattern is formed. In the face area and roof, a zone of maximum principal stress concentration σ_1 develops, reaching 29–31 MPa. At the same time, stress reduction to 8–12 MPa is observed in the floor, indicating the formation of a destressed near-contour zone. This stress combination is geomechanically unfavorable, since the reduction in normal stress increases the role of shear stresses, which is particularly dangerous for weak layered argillites of the floor. The distribution pattern of the maximum principal stresses in the near-contour zone of ventilation roadway 47K2-Z is shown in Figure 1.

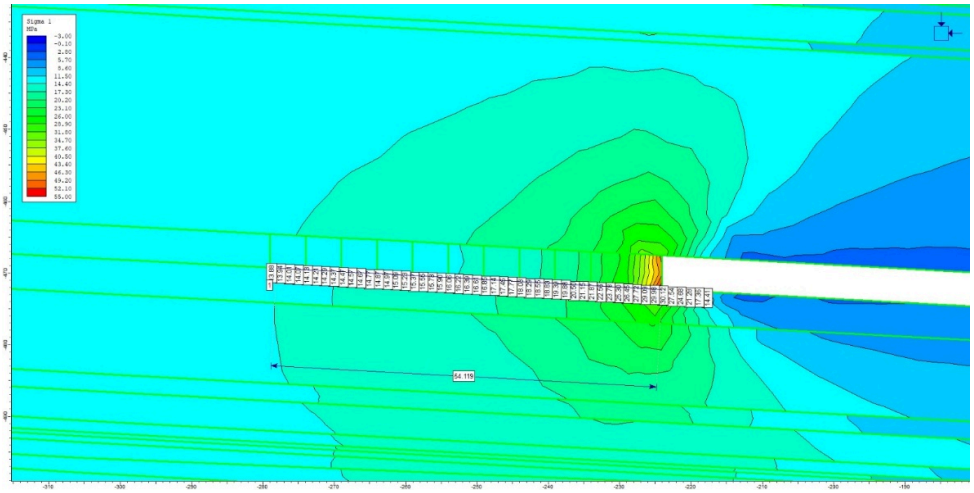


Fig. 1 - Variation of maximum principal stresses along the axis of ventilation roadway 47K2-Z

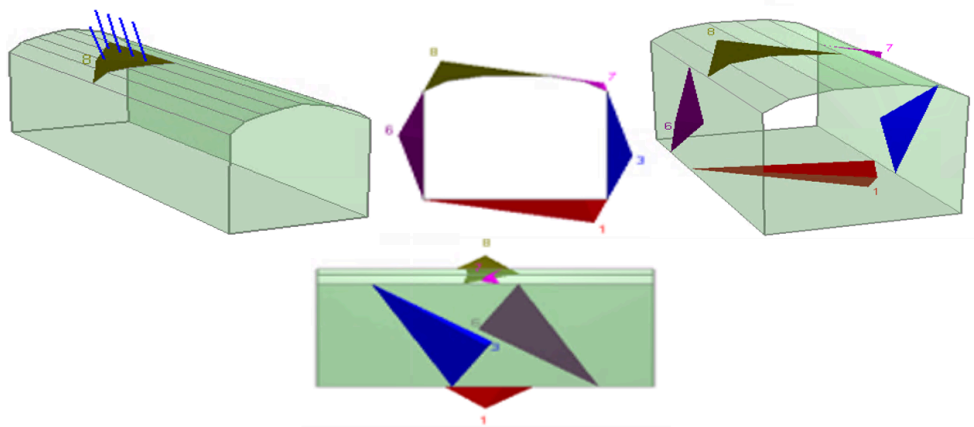


Fig. 2 - Weakened zones of the rock mass and their stability assessment based on Unwedge modeling results

The calculation of the floor rock stability factor confirmed the presence of conditions for the development of floor heave. At normal stresses of 8–12 MPa, shear stresses of 4.5–6.0 MPa, argillite cohesion of 1.2–1.8 MPa, and an internal friction angle of 18–22°, the stability factor Fs in the near-contour zone ranges from 0.80 to 0.95. Values below unity indicate a transition of the rock mass into an unstable state and the development of plastic deformation. Therefore, floor heave in the considered excavation is a natural consequence of stress redistribution under conditions of a weak argillite floor, rather than a random local manifestation of rock pressure.

Analysis of the structural disturbance of the rock mass showed that an additional factor contributing to instability is the presence of fracture systems and

weakened surfaces forming potential wedge-shaped blocks in the roof, ribs, and floor. According to modeling results obtained using Dips and Unwedge, depending on fracture orientation and excavation direction, roof and sidewall blocks of significant mass may form. For certain weakened roof wedges, the initial safety factor is equal to zero, indicating the necessity of mandatory rock bolting. After bolt installation, the safety factor increases to 1.8–2.0, and the weakened zone transitions into a stable state.

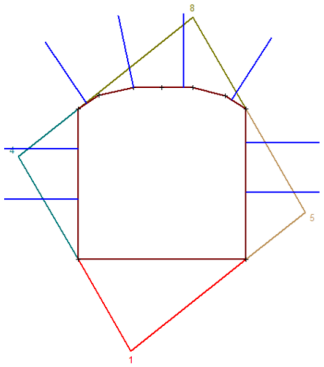
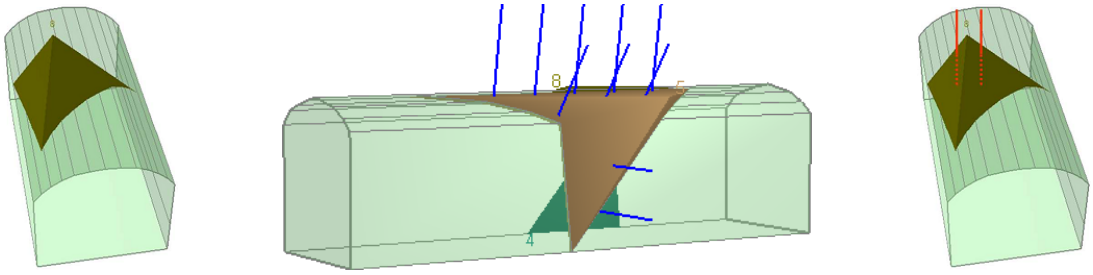


Fig. 3 - Fracture development zones under rock bolt support in disturbed areas in the Unwedge software interface (a - rock bolt support; b - factor of safety of rock blocks) In the floor (1) FS: Stable Weight: 89.8 tonnes; Left wedge (4) FS: 12.823 Weight: 59.3 tonnes; Right wedge (5) FS: 28.4 Weight: 59.3 tonnes; Roof wedge (8) FS: 11.2 Weight: 48.8 tonnes

To determine the factor of safety of the supported weakened zone, the ratio of the support capacity to the weight of the weakened wedge was used:

$$FS = \frac{support\ capacity}{weight\ of\ the\ weakened\ zone} \quad (1)$$

Figure 4 shows the calculation of the factor of safety for unsupported and supported excavations.



А **Б** **В**

Fig. 4 – Determination of the factor of safety for unsupported (A) and supported (B) geomechanical models in the Unwedge program; (C) excavation layout and support scheme

$$FS = \frac{support\ capacity}{wedgeweight}$$

Support capacity = 0 t
Wedge weight = 44 t
FS = 0 / 44 = 0

Support capacity = 80 t
Wedge weight = 44 t
FS = 80 / 44 = 1.8

The assessment of the influence of support parameters showed that the most effective scheme is the one that ensures not only roof support but also limits deformation of the ribs and floor. Modeling results indicate that a two-level rock bolting system reduces the development of inelastic deformations compared to a single-level scheme, while the use of side bolts decreases the load on the ribs and reduces pressure from the floor rocks. Increasing the length of side bolts to 3.5 m is accompanied by an increase in the rock mass safety factor, a reduction in lateral stresses from 20 to 15 MPa, and a decrease in the depth of failure in the roof and ribs. The use of floor bolting reduces floor deformations by 40–50%, which is especially important under conditions of argillites prone to heaving.

Comparison of calculated and field data shows that deformation development in the excavation has a pronounced geomechanical nature and is governed by the interaction of weak floor rocks with the redistributed stress state of the near-contour rock mass. Stability improvement is achieved not by strengthening a single element, but through a комплексное воздействие on the "floor–ribs–roof" system, where rock bolting and combined support limit the development of the plastic zone and contribute to rock mass stabilization. The summarized results of laboratory and instrumental determination of physical and mechanical properties of the studied near-contour rocks are presented in Table 1.

Table 1 - Physical and mechanical properties of the studied rocks of the near-contour rock mass

Rock Type	Average Schmidt Rebound Index (R)	Estimated Strength by Schmidt Hammer, MPa	Estimated Strength by IPS-MG4.04, MPa
Argillite	29.1	42	38
Carbonaceous argillite	25.7	35	32
Siltstone	35.5	55	50
Sandstone	43.5	78	70
Coal seam K1	19.1	16	15
Coal seam K2	17.9	14	13
Coal seam K3	16.9	13	12

The main calculated parameters of the stress state of the near-contour zone and the stability factor of the floor rocks obtained from numerical modeling are presented in Table 2.

Table 2 - Calculated parameters of the stress state and the stability factor of floor rocks

Parameter	Value	Interpretation
Maximum principal stresses in the zone ahead of the face, MPa	29–31	Formation of a stress concentration zone
Normal stresses in the floor, MPa	8–12	Development of a destressed near-contour zone
Shear stresses in the floor, MPa	4.5–6.0	Increased probability of shear deformation
Extent of the active stress redistribution zone, m	30–35	Geomechanically disturbed near-contour zone
Cohesion of floor argillites, MPa	1.2–1.8	Low shear strength
Internal friction angle of argillites, degrees	18–22	Limited shear resistance
Stability factor of floor rocks, Fs	0.80–0.95	Unstable condition, prerequisites for heave
Plastic deformation zone	3.5 m from the excavation contour	Support reinforcement required

The obtained results indicate that the development of floor heave in development workings at deep horizons is not caused by a single factor, but by their combined action. The key role is played by the interaction of the low strength of argillite floor rocks, pronounced structural heterogeneity of the rock mass, and stress redistribution after excavation. Under the considered conditions, it is the reduction of lateral confinement in the near-contour zone, combined with the action of shear stresses, that creates a geomechanical situation in which weak floor rocks transition into a plastic state and begin to heave into the excavation void.

It is fundamentally important that laboratory tests and numerical modeling do not contradict each other but rather complement one another. The experimentally

determined low strength of argillites explains their increased susceptibility to deformation, while RS2 modeling demonstrates how this weakness is manifested in the near-contour zone. Therefore, floor heave should be considered as the result of the superposition of two processes: intrinsic rock weakness and external stress redistribution.

From an engineering perspective, this implies that the conventional approach, which focuses primarily on roof support, does not ensure sufficient stabilization of the excavation. Under such conditions, an effective support system must simultaneously limit roof delamination, restrain sidewall displacement, and prevent floor heave. This explains why combined support systems with side and floor bolts, as well as two-level bolting schemes that redistribute loads to more stable zones of the rock mass, have shown the greatest effectiveness.

Comparison of the obtained results with general concepts of modern rock mechanics indicates that for deep horizons, the decisive factor is not the absolute stress level but the configuration of stress redistribution around the excavation. A stress concentration zone forms ahead of the face, while a destressed zone develops in the floor. When designing development workings under similar conditions, it is necessary to consider not only rock strength but also the potential formation of destressed near-contour zones, which are most critical in terms of floor heave.

The advantage of this study lies in its integrated approach, combining laboratory determination of rock properties, numerical modeling of the stress-strain state, and analysis of support parameters. This made it possible to move from qualitative descriptions of floor heave to its quantitative geomechanical interpretation. However, the limitations of the study include consideration of a single excavation and the use of a two-dimensional modeling approach. Further research should focus on expanding the field observation base, accounting for spatial variability of interburden layers, and applying three-dimensional modeling of the near-contour rock mass.

Conclusion. It has been established that the stability of development workings at deep horizons is largely determined by the condition of floor rocks composed of weak argillites prone to plastic deformation. Laboratory studies confirmed significant heterogeneity in the physical and mechanical properties of the near-contour rock mass, while numerical modeling revealed the pattern of stress redistribution within the excavation influence zone. It was shown that a zone of maximum principal stress concentration forms ahead of the face, while a destressed zone with reduced lateral confinement develops in the floor, creating conditions for rock extrusion into the excavation.

It is demonstrated that stability improvement is achieved by transitioning from local reinforcement of individual zones to integrated stabilization of the “roof–ribs–floor” system. The most effective solutions were combined two-level rock bolting schemes, which reduce inelastic deformation, limit the development of the plastic zone, and increase the safety factor of the near-contour rock mass. The obtained results can be used for geomechanical justification of support parameters for development workings under similar geological and mining conditions of the Karaganda coal basin.

Funding. *This research was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under program-targeted funding for the implementation of the scientific and technical program IRN BR28712407.*

References

1. Kang H., Jiang P., Wu Y., Gao F. A combined “ground support-rock modification destressing” strategy for 1000-m deep roadways in extreme squeezing ground condition // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2021.-Vol.142:104746. DOI 10.1016/j.ijrmms.2021.104746.
2. Zberovskyi V., Bubnova O., Babii K. Specifics of hydro-loosening of coal seams with account of rocks displacement parameters //E3S Web of Conferences. −2018.-Vol.60:00025. DOI 10.1051/e3sconf/20186000025.
3. Liu H., Jiang Z., Chen W., Chen F., Ma F., Li D., Liu Z., Gao H. A simulation experimental study on the advance support mechanism of a roadway used with the longwall coal mining method // Energies. −2022. Vol. 15: 1366. DOI 10.3390/en15041366.
4. Kuchin O.S., Bruj G.V., Jankin O.Є. Modeljuvannja prostorovogo zmishhennja tochok zemnoï poverhni za rezul'tatami geodezichnih sposterezhen'// Prostorovij rozvitok. −2023. -№ 3. -S.122-133. DOI 10.32347/2786-7269.2023.3.122-133. [in Ukrainian]
5. Abeuov E.A., Zamaliev N.M., Demin V.F., Ahmatnurov D.R., Musin R.A., Ganjukov N.Ju. Sposob vyemki zapasov rud v mezhdukamernyh celikah: pat. 37803 Resp. Kazahstan; zajavl. 25.12.2024; opubl. 06.02.2026 /

NAO «Karagandinskij tehnicheskij universitet imeni Abylkasa Saginova». Astana: NIIS RK, 2026. [in Russian]
6. Ahmatnurov D.R., Zamaliev N.M., Musin R.A., Shmidt-Fedotova I.M., Demin V.F., Reshetnjakov Je.D. Sposob degazacii gazonosnyh plastov: pat. 37836 Resp. Kazahstan; zajavl. 29.01.2025; opubl. 20.02.2026 / NAO «Karagandinskij tehnicheskij universitet imeni Abylkasa Saginova». Astana: NIIS RK, 2026. [in Russian]
7. Kuchin O., Brui H., Yankin O., Ishutina H. The relationship between lowering the Earth's surface and bearing pressure above the advancing longwall face // JGD. −2023. -Vol.1(34). - P. 28-36. DOI 10.23939/jgd2023.01.028.
8. Chetverik M., Bubnova E., Babij E. Izuchenie skorosti razvitija deformacij v massive na osnove markshejderskih nabljudenij na zemnoj poverhnosti// // Mining of Mineral Deposits. −2017. - Vol.11(1)-S. 57-64. DOI 10.15407/mining11.01.057. [in Russian]
9. Bazaluk O., Kuchyn O., Saik P., Soltabayeva S., Brui H., Lozynskyi V., Cherniaiev O. Impact of ground surface subsidence caused by underground coal mining on natural gas pipeline // Scientific Reports. 2023.- Vol. 13:19327. DOI 10.1038/s41598-023-46814-5.
10. Bubnova O. Regularities of subsidence development during multiple underworking of the earth's surface in the Lviv-Volyn coal basin conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2024. -Vol.1348:012065. DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012065.
11. Mussin R., Portnov V., Golik A., Zamaliyev N., Akhmatnurov D., Ganyukov N., Skrzypkowski K., Zagórski K., Efremova S. Assessment of Strength Characteristics and Structural Heterogeneity of Coal Seams in the Karaganda Basin by Geophysical Methods for Enhancing Mining Safety \// Mining. - 2026.- Vol. 6(1):21. DOI 10.3390/mining6010021.

Information about the authors

Mussin R. A. - PhD, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan, e-mail: R.A.Mussin@mail.ru;

Dauletzhanova Zh.T. - PhD, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh Technological and Business University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Zamaliyev N.M. - PhD, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nailZamaliyev@mail.ru;

Akhmatnurov D.R. - PhD, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: d_akhmatnurov@mail.ru;

Demin V.F.*;* - Doctor of Technical Sciences, Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: vladfdemin@mail.ru.

Информация об авторах

Мусин Р.А.- доктор PhD, Карагандинский технический университеа им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: r.a.mussin@mail.ru;

Даулетжанова Ж. Т.- PhD,Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Казахстан, электронная почта: e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

ЗамалиевН.М.- доктор PhD, ассоциированный профессор, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: nailzamaliyev@mail.ru;

Ахматнуров Д.Р.- доктор PhD,Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: d.akhmatnurov@gmail.com;

Демин В.Ф.- доктор технических наук, профессор, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: vladfdemin@mail.ru.

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-13

PROLONGING INTERREPAIR CYCLES OF IN-SITU LEACHING URANIUM WELLS USING A SPECIALIZED REAGENT

Kh. Yussupov[1], C. Drebenstedt[2], S. Myrzakhmetov[1], E. Aben[1]✉, G. Abdissattar[1], N. Nazarbayeva[1]
[1] *Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*
[2] *Technical University Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany*
✉ *Corresponding author: y.aben@satbayev.university*

All uranium production in the Republic of Kazakhstan is conducted using in-situ leaching (ISL) technology. One of the major challenges associated with this mining method is the reduction in the operational life of process wells due to clogging of well screens and the near-wellbore formation zone. Existing well-rehabilitation methods often fail to provide satisfactory results, as their effectiveness is frequently limited and the achieved improvements are typically short-lived.

The objective of this study was to develop a theoretical framework and evaluate the effectiveness of a specialized inhibitor-based reagent for extending the operating cycle of process wells.

Theoretical and laboratory investigations employing an inhibitor-dissolver reagent demonstrated enhanced dissolution of calcium-bearing deposits, thereby reducing the intensity of clogging within well screens and the near-wellbore zone. Relationships were established between calcium dissolution efficiency and inhibitor concentration in the leaching solution during uranium recovery, as well as between inhibitor dosage and the operating cycle of process wells. The preferential dissolution of calcium ions was achieved at an inhibitor concentration of 2%.

Pilot-scale field tests conducted at a uranium ISL operation demonstrated improved leaching performance owing to the extension of well operating cycles following inhibitor application. Compared with conventional technology, the proposed approach improved uranium production efficiency by up to 30% on average.

Keywords: in-situ uranium leaching, colmatation, specialized reagent, calcium ions, technological well, interrepair cycle.

АРНАЙЫ РЕАГЕНТТІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, УРАНДЫ ЖЕРАСТЫ СІЛТЕЛЕУ КЕЗІНДЕ ҰҢҒЫМАЛАРДЫҢ ЖӨНДЕУ АРАЛЫҚ ЦИКЛІН ҰЛҒАЙТУ

Х.А. Юсупов[1], К. Дребенштедт[2], С.С. Мырзахметов[1], Е.Х. Абен[1]✉, Г. Әбдісатар[1], Н.А. Назарбаева[1]
[1] *Satbayev University, Алматы, Қазақстан*
[2] *Фрайберг тау-кен академиясының техникалық университеті, Фрайберг, Германия*
✉ *e-mail: y.aben@satbayev.university*

Қазақстан Республикасында уран өндірудің барлық көлемі жерасты ұңғымалық шаймалау технологиясы арқылы жүзеге асырылады. Бұл технологияның негізгі проблемаларының бірі-сүзгілердің және технологиялық ұңғымалардың сүзгі аймағының колматациясы нәтижесінде ұңғымалардың жөндеу аралық циклінің төмендеуі. Жөндеу және қалпына келтіру жұмыстарының қолданыстағы әдістері қажетті нәтиже бермейді, яғни кейбір жағдайларда - шамалы ғана болса, басқаларында - нәтижелер қысқа мерзімді.

Жұмыстың мақсаты - технологиялық ұңғымалардың жөндеу аралық цикліне ингибитор түріндегі арнайы реагенттің әсерін теориялық негіздеу және зерттеу болып табылады.

Еріткіш ингибиторын қолдана отырып жүргізілген теориялық және зертханалық зерттеулер кальций иондарының еру дәрежесінің жоғарылауын дәлелдеді, бұл сүзгілер мен сүзгі аймағының колматациясының түзілуін төмендетуге ықпал етеді. Кальций иондарының еру дәрежесінің уранды шаймалау сатысында шаймалау ерітіндісіне енгізілетін ингибитордың концентрациясына, сондай-ақ технологиялық ұңғымалардың жөндеу аралық циклінің өзгеруіне тәуелділігі анықталды. Кальций иондарының басым еруі ингибитордың 2% концентрациясында байқалды.

Уран кенішіндегі тәжірибелік-өнеркәсіптік жұмыстар ұңғымаларда жөндеу аралық жұмыс циклін 30% - ға дейн ұлғаю арқылы уранды жерасты ұңғымалық шаймалау тиімділігінің артқанын көрсетеді.

Түйін сөздер: уранның ұңғымаларын шаймалау, колматация, арнайы реагент, кальций иондары, технологиялық ұңғымалар, жөндеу аралық цикл.

УВЕЛИЧЕНИЕ МЕЖРЕМОТНОГО ЦИКЛА СКВАЖИН ПРИ ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО РЕАГЕНТА

Х.А. Юсупов[1], К.Дребенштедт[2], С.С. Мырзахметов[1], Е.Х Абен[1]✉, Г.Әбдісатар[1], Н.А. Назарбаева[1]

[1] *Satbayev University, Алматы, Казахстан*
[2] *Технический университет Фрайбергской горной академии, Фрайберг, Германия*
✉ *e-mail: y.aben@satbayev.university*

Весь объем добычи урана в Республике Казахстан производится технологией подземного скважинного выщелачивания. Одним из основных проблем данной технологии является снижение межремонтного цикла работы скважин в результате кольматации фильтров и прифильтровой зоны технологических скважин. Существующие способы ремонтно-восстановительных работ не дают желаемых результатов, т.е. в одних случаях - не значительные, в других - результаты кратковременные.

Целью работы является теоретическое обоснование и изучение действия специального реагента в виде ингибитора на межремонтный цикл работы технологических скважин.

Проведенными теоретическими и лабораторными исследованиями с применением ингибитора-растворителя доказано повышение степени растворения ионов кальция, способствующий снижению образования кольматации фильтров и прифильтровой зоны. Установлены зависимости степени растворения ионов кальция от концентрации ингибитора, вводимого в выщелачивающий раствор на стадии выщелачивании урана, а также на изменение межремонтного цикла работы технологических скважин. Предпочтительное растворение ионов кальция достигается при концентрации ингибитора - 2%.

Опытно-промышленные работы на урановом руднике показали повышение эффективности подземного скважинного выщелачивания урана за счет увеличения межремонтного цикла работы скважин при применении ингибитора по сравнению с базовой технологией в среднем до 30%.

Ключевые слова: скважинное выщелачивание урана, кольматация, специальный реагент, ионы кальция, технологические скважины, межремонтный цикл.

Introduction. In-situ leaching (ISL) is the predominant and most efficient method for uranium extraction from sandstone-hosted and alluvial deposits characterized by high permeability of the host rocks. The process involves the injection of a sulfuric acid-based leaching solution into the productive horizon through injection wells [1, 2]. Uranium dissolution occurs through a series of chemical reactions, resulting in the formation of soluble uranyl sulfate complexes that are transported within the pregnant leach solution and subsequently recovered at the surface through production wells for further processing:

$$UO_2 + H_2SO_4 = UO_2SO_4 + H_2O$$

Owing to its high technological and economic efficiency, in-situ leaching has become the predominant method for uranium extraction in many countries worldwide. The Republic of Kazakhstan is currently the world's leading producer of uranium using ISL technology.

The majority of Kazakhstan's uranium resources are concentrated within the Syr-Darya uranium ore province, which comprises sandstone-hosted infiltration deposits. These deposits typically occur as stratiform ore bodies with thicknesses ranging from 20 to 30 m and exhibit sinuous ribbon-like geometries in plan view, extending from 1 to 10 km in length and 50 to 600 m in width. The morphology of the uranium mineralization is generally simpler than that of the individual ore-bearing and barren zones.

Development of uranium deposits within the Syr-Darya uranium ore province is primarily carried out using hexagonal and linear wellfield patterns. In these wellfields, the distance between production and injection wells typically ranges from 30 to 60 m, whereas the spacing between adjacent injection wells varies from 20 to 40 m. The average well depth is approximately 600–650 m. The average flow rates of production and injection wells are 4.8 and 2.4 m³/h, respectively. The sulfuric acid concentration in the leaching solution is maintained within the range of 6–12 g/L. KDF-118/90 frame-and-disc filters are installed across the entire thickness of the productive aquifer hosting the uranium mineralization.

Following the drilling of process wells, well development operations are carried out to remove clay particles, fine sand, and drilling debris from the well screen and the surrounding near-wellbore zone along the entire screened interval [3].

One of the major operational challenges in uranium ISL is the decline in well productivity over time, which results in unstable well performance and a shortened operating cycle between rehabilitation treatments.

In the present study, the maintenance cycle is defined as the period of operation of a process well from the completion of the previous rehabilitation treatment and the return of the well to normal operating conditions until the implementation of the subsequent rehabilitation intervention. The need for the next maintenance operation is determined by a decline in the injectivity of injection wells or the productivity of recovery wells below the threshold specified by operational regulations, resulting from the development of clogging processes within the well screen and the near-wellbore zone.

In the Syr-Darya uranium ore province, where sulfuric acid leaching is employed, the formation of poorly soluble mineral precipitates is a major factor contributing to well clogging. Gypsum is the predominant component of these deposits. Its formation results from the reaction of sulfuric acid with calcium-bearing minerals present in the host rocks, primarily calcite and dolomite:

$$CaCO_3 + H_2SO_4 + H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O \downarrow + CO_2 \uparrow$$

$$Ca(Mg(CO_3)_2 + H_2SO_4 + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O \downarrow + MgSO_4 + 2CO_2 \uparrow$$

The gypsum precipitates formed as a result of these reactions are characterized by high mechanical strength and strong adhesion to mineral surfaces and therefore cannot be removed under normal hydraulic pressures or by the flow of injected leaching solution. The accumulation of gypsum on well screens and within the pore space of the near-wellbore zone reduces the injectivity of injection wells, decreases the productivity of process wells, and shortens the operating cycle between rehabilitation treatments. Additional factors contributing to well clogging include the accumulation of clay particles and suspended solids, the formation of corrosion products, and the migration of fine sand from the productive formation.

Therefore, various rehabilitation measures are required to restore well productivity, with the selection of the treatment method depending on the dominant type of clogging, as summarized in Table 1 [4, 5].

Table 1 - Classification of colmatation types and methods for restoring well productivity in the Syr-Darya province

Type of colmatation	The main colmatating compounds	The method of well rehabilitation
Mechanical colmatation	Sand, clay particles, mechanical suspensions, drilling sludge.	Mechanical cleaning (flushing, air-lift leveling up, removal of sand plugs).
Chemical colmatation	Mainly gypsum, as well as aluminite, carbonate and hydroxide compounds.	Chemical treatment (acid and reagent substances for dissolving colmatants)

At uranium deposits of the Syr-Darya uranium ore province, well rehabilitation is predominantly performed using either mechanical or chemical treatment methods. The duration of the well operating cycle is largely determined by the selected rehabilitation approach. Figure 1 presents the operating cycles of 12 wells subjected to mechanical rehabilitation and 9 wells treated using chemical rehabilitation methods at the study site.

As shown in Figure 1, the operating cycle of wells following mechanical rehabilitation ranged from 8 to 32 days, with an average value of 20 days. After the implementation of chemical rehabilitation methods, the operating cycle increased to 15-34 days, with an average duration of 23 days.

To extend the operating cycle of wells in the Syr-Darya uranium ore province, various reagents have been investigated for well treatment. Acid-based treatments have been shown to increase the permeability of host rocks and contribute to enhanced productivity. For example, treatment with a solution containing 100 g/L sulfuric acid increased the injectivity of injection wells from 0.2-0.5 m³/h to 4.5 m³/h, representing an improvement of more than ninefold. In addition,

15-20% hydrochloric acid (HCl) solutions are widely used for well rehabilitation.

Clogging deposits containing aluminite exhibit high solubility in acidic solutions. Sodium polyphosphates are also employed as effective dissolving agents at concentrations ranging from 30 to 100 g/L. Furthermore, technical sodium tripolyphosphate solutions are commonly used for the treatment of the near-wellbore zone of wells [6, 7].

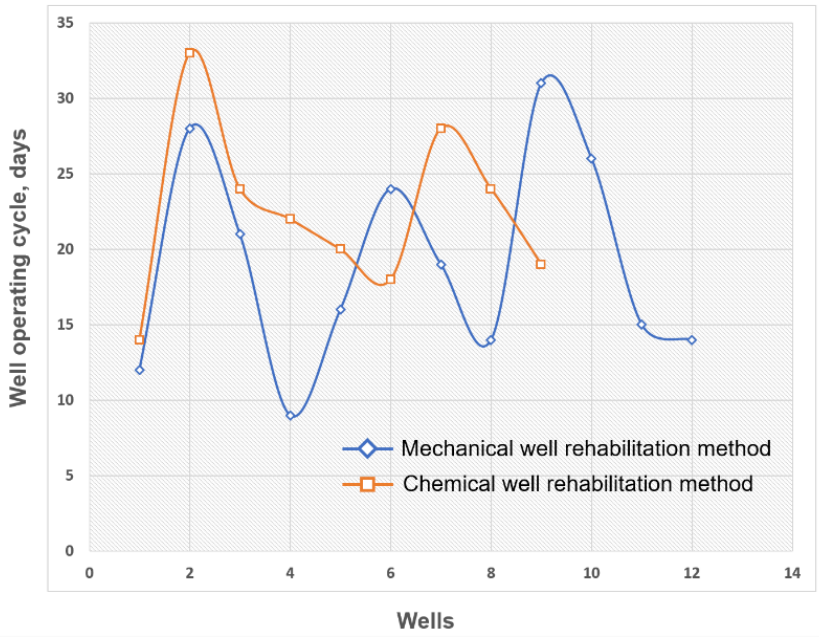


Fig.1. Comparison of well operating cycles after mechanical and chemical rehabilitation

However, these rehabilitation methods have not consistently produced satisfactory results. In some cases, the increase in well productivity was limited, whereas in others the observed improvements were only temporary.

Extensive operational experience has shown that the most effective approach to controlling clogging is to prevent the formation of deposits before they occur. Therefore, the present study proposes the use of an inhibitor-dissolver reagent capable of dissolving clogging deposits during the uranium leaching process. The effectiveness of such reagents is attributed to physicochemical mechanisms that influence nucleation, crystal growth, and mineral precipitation. Depending on their chemical composition, inhibitors suppress crystallization and scale formation through different mechanisms of interaction.

The action of scale inhibitors is primarily based on several key mechanisms. These reagents inhibit scale formation by increasing the supersaturation threshold required for precipitation, modifying crystal growth and morphology through adsorption onto crystal surfaces, and dispersing fine particles to prevent their aggregation and deposition within the system [8].

To the best of the authors' knowledge, the application of inhibitor-dissolver reagents for mitigating well clogging during uranium in-situ leaching has not yet been reported in the literature and has not been implemented in industrial practice. Furthermore, a number of environmentally friendly ("green") reagents with high ecological safety have recently been developed, including carboxyl carbon quantum dots [9, 10].

Materials and Methods. The concentration of dissolved calcium ions is one of the key factors controlling gypsum precipitation during uranium in-situ leaching. As the concentration of free calcium ions in the leaching solution increases, the likelihood and intensity of calcium sulfate precipitation also increase, thereby promoting clogging of well screens and the surrounding near-wellbore formation.

$$Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O = CaSO_4 \cdot 2H_2O \downarrow$$

Consequently, a decrease in the concentration of free calcium ions in the leaching solution reduces the degree of gypsum supersaturation and promotes the dissolution of previously formed mineral deposits. Given the critical role of calcium ions in gypsum scale formation, an inhibitor-dissolver reagent containing a polyacrylsulfonated polymer, hydroxyethylidene diphosphonic acid (HEDP), and water was investigated in the present study.

The inhibitor-dissolver reagent developed for mitigating clogging in the Syr-Darya uranium ore province consists of a 10% organic phosphonate solution with a density of 1.01-1.10 g/cm³ and a pH ranging from 0 to 5. Due to its acidic nature, the reagent is classified as a Class IV hazardous substance.

To evaluate the applicability of the proposed inhibitor-dissolver reagent for uranium in-situ leaching, theoretical investigations, laboratory experiments, and pilot-scale field tests were conducted.

Laboratory experiments were performed to determine the dissolution efficiency of carbonate minerals as a function of inhibitor concentration and to assess the potential of the reagent for preventing clogging within well screens and the surrounding near-wellbore zone. Five experimental samples with a volume of 1000 mL each were prepared using 99.99 g of core material collected from process wells within the Syrdarya uranium ore province.

During the laboratory work model leaching solutions were prepared. The first sample contained 1000 mL of sulfuric acid solution with a concentration of 2.5 wt. % without the addition of the inhibitor-solvent. The second, third, fourth, and fifth samples were filled with 1000 mL of the same 2.5 wt.% sulfuric acid solution supplemented inhibitor-solvent with the colmatants presipitates at concentrations of 1%, 2%, 3%, and 4%, respectively. For each inhibitor concentration (0, 1, 2, 3 and 4%), a single laboratory experiment was conducted. Therefore, statistical analysis of the results was not performed, and the obtained data should be considered as comparative experimental results demonstrating trends in inhibitor performance.

The concentration of calcium ions (Ca^{2+}) in the liquid phase was determined by complexometric titration using a Trilon B (EDTA) solution. After equilibrium had been established in the solution-rock system, a 10 mL aliquot was withdrawn using a graduated pipette and transferred to a 250 mL conical flask. Subsequently, 40 mL of distilled water measured with a graduated cylinder, 2.5 mL of a 20 wt.% sodium hydroxide solution, and 10-15 mg of a murexide-sodium chloride indicator mixture were added. Titration was carried out using a 25 mL burette with a standard 0.05 N Trilon B solution until the endpoint was reached, as indicated by a change in the indicator color. The volume of titrant consumed was recorded from the burette scale, after which the calcium ion concentration was calculated and expressed in g/L.

Pilot-scale field studies were carried out to assess the effect of the inhibitor-dissolver reagent on the operating cycle of process wells under production conditions. The study is based on the analysis of operational data from eight wells and has an observational field-scale character. No statistical significance testing was performed; therefore, the results should be interpreted as a comparative assessment of changes in operational performance indicators before and after reagent application.

Results and Discussion. Analysis of the geological conditions of the study area showed that the carbonate content of the deposit reaches up to 1.7%, whereas in most uranium deposits of the Republic of Kazakhstan it does not exceed 0.5%. The elevated concentration of carbonate minerals enhances the release of calcium ions into the leaching solution, thereby increasing the potential for gypsum precipitation and clogging. As shown in Table 2, the inhibitor-dissolver reagent contains 1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid (HEDP) as its principal active component [11, 12].

Table 2 - Composition of the antiscaling reagent used

No.	Components	Density	pH Range
1	Polyacrylate-sulfonated polymers	1.05–1.15 g/cm^3	1–14
2	1-Hydroxyethylidene-1, 1-diphosphonic acid (HEDP)	1,43–1,45 g/cm^3	0–12
3	Water	1.0 g/cm^3	6.5–8.5

1-Hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid (HEDP) is an organophosphonate compound with the molecular formula $C_2H_8O_7P_2$. The molecule contains two phosphonic acid groups and one hydroxyl group attached to a central carbon atom, providing multiple oxygen donor sites for metal-ion coordination.

Under acidic conditions, the phosphonic acid groups partially dissociate and form anionic species capable of chelating calcium ions. Consequently, stable soluble calcium-HEDP complexes are formed:

$$Ca^{2+} + HEDP^{4-} \rightleftarrows [CaHEDP]^{2-}$$

The stability constant of the calcium-HEDP complex is sufficiently high to promote effective sequestration of calcium ions even at the low pH values characteristic of sulfuric acid uranium leaching.

The reduction in the concentration of free calcium ions shifts the gypsum dissolution equilibrium toward dissolution of the solid phase, thereby enhancing the removal of calcium-bearing deposits:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightleftarrows Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$$

The calcium ions released during gypsum dissolution are subsequently sequestered by HEDP, which promotes the progressive dissolution of existing gypsum scale while simultaneously inhibiting its re-precipitation.

Polyacrylsulfonated polymers are anionic high-molecular-weight compounds containing carboxylate and sulfonate functional groups along the polymer backbone. These functional groups impart strong dispersing properties and inhibit particle aggregation, thereby reducing the accumulation of mineral precipitates within well screens and the near-wellbore zone. A schematic representation of the polymer structure is presented below:

$$[-CH_2 - CH(COOH) -]_m [-CH_2 - CH(SO_3H) -]_n$$

Under acidic conditions, the polymer undergoes partial dissociation, generating carboxylate (-COO^-) and sulfonate (-SO_3^-) functional groups. These negatively charged groups interact with calcium ions and adsorb onto the surface of gypsum crystals, disrupting crystal growth and promoting the formation of surface calcium-polymer complexes:

$$2RCOO^- + Ca^{2+} \leftrightarrow (RCOO)_2Ca$$

$$2RSO_3^- + Ca^{2+} \leftrightarrow (RSO_3)_2Ca$$

As a result of these interactions, the active growth sites of salt-precipitate crystals are blocked, reducing crystal growth rates and preventing gypsum re-precipitation. In addition, the polymer chains generate electrostatic repulsion between particles, thereby inhibiting gypsum particle aggregation and their retention within the pore space.

The effectiveness of the proposed inhibitor-dissolver composition is based on the synergistic action of two complementary mechanisms. HEDP forms stable soluble complexes with calcium ions and promotes the dissolution of gypsum deposits, whereas polyacrylsulfonated polymers suppress crystal nucleation and growth. Together, these processes reduce scale formation and prevent the re-precipitation of calcium-bearing mineral deposits.

Based on these considerations, laboratory experiments were conducted to evaluate the effect of inhibitor concentration on the dissolution efficiency of calcium-bearing minerals.

The results of the ion analysis of the five experimental solutions are presented in Figure 2.

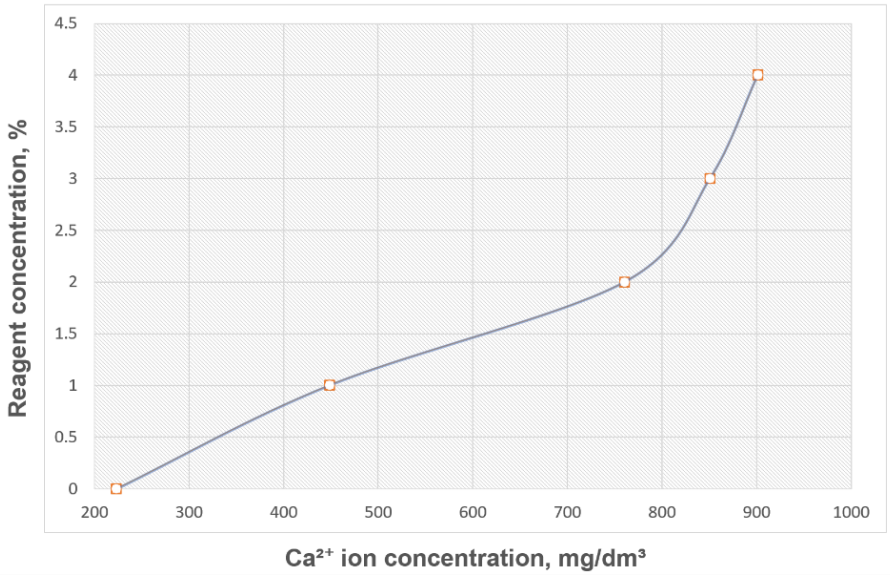


Fig. 2. Results of calcium ion analysis in experimental solutions

As shown in Figure 2, the control sample without the inhibitor-dissolver reagent exhibited a calcium ion concentration of 223.2 mg/dm^3 in the liquid phase. This value indicates a limited degree of calcium transfer into solution, suggesting that only a small proportion of calcium was present in ionic form, while the majority remained in the solid phase as sparingly soluble compounds. Under such conditions, calcium-bearing mineral precipitates are more likely to form within well screens and the near-wellbore zone of process wells, resulting in reduced hydraulic conductivity and a shortened well operating cycle.

The addition of the inhibitor-dissolver reagent at a concentration of 1.0% resulted in a substantial change in calcium behavior. The concentration of dissolved calcium increased to 450 mg/dm^3, which is more than twice that observed in the control sample. This result indicates enhanced dissolution of calcium-bearing compounds under the action of the inhibitor.

A further increase in inhibitor concentration to 2%, 3%, and 4% resulted in an even greater increase in dissolved calcium concentration. Specifically, the concentration of calcium in solution increased by 240%, 280%, and 300%, respectively, relative to the control sample without inhibitor addition. These results demonstrate a clear relationship between inhibitor concentration and calcium dissolution efficiency.

The observed results demonstrate that the inhibitor promotes the transfer of calcium into the solution phase in a stable dissolved form, thereby reducing the likelihood of secondary precipitation. As a consequence, compounds responsible for clogging remain stabilized in the liquid phase rather than forming solid deposits. This substantially decreases the potential for their accumulation within the pore space and on well screens.

Therefore, the application of the inhibitor-dissolver reagent enhances the dissolution of clogging deposits and contributes to the preservation of the hydraulic properties of the near-wellbore zone. Under the operating conditions of the Syr-Darya uranium ore province, this effect reduces the intensity of well clogging and represents one of the key factors contributing to the extension of well operating cycles and the improvement of overall uranium ISL performance.

Thus, an inhibitor concentration of 2% may be considered the preferred concentration. Under these conditions, the concentration of dissolved calcium increased from 223.2 mg/dm^3 in the control sample to 760.3 mg/dm^3, indicating a substantial enhancement in the dissolution of calcium-bearing compounds.

A further increase in reagent concentration led to only a marginal rise in dissolved calcium concentration, reaching approximately 280% and 300% at reagent concentrations of 3% and 4%, respectively. This finding indicates that the maximum practical effectiveness of the reagent had been achieved, with the major dissolution processes already completed. Additional inhibitor addition had only a minor effect on the dissolution kinetics and the transfer of calcium into the solution phase.

To verify the results of the theoretical and laboratory investigations and to compare well operating cycles before and after the introduction of a 2% inhibitor into the leaching solution, pilot-scale field tests were conducted on eight wells (Nos. 1–4, 6–7, and 9–10) that had previously undergone mechanical rehabilitation (Figure 1).

The changes in well operating cycles are presented in Table 3.

Table 3 -Variation in the interrepair cycle of wells

Number of wells	1	2	3	4	6	7	9	10
Interrepair cycle, days	18	34	26	13	30	24	36	34

As shown by the data presented in Table 3, the addition of the inhibitor-dissolver reagent to the leaching solution resulted in changes in the operating cycle of process wells. In the wells that had previously undergone mechanical rehabilitation, the operating cycle following inhibitor application increased and ranged from 13 to 36 days, with an average value of 27 days.

For comparison, the average operating cycle of these wells prior to inhibitor application was 21 days. Therefore, the use of the inhibitor-dissolver reagent increased the average operating cycle by approximately 30%, indicating improved well stability and reduced clogging of well screens and the surrounding near-wellbore zone.

Comparative data on well operating cycles before and after inhibitor application are presented in Figure 3.

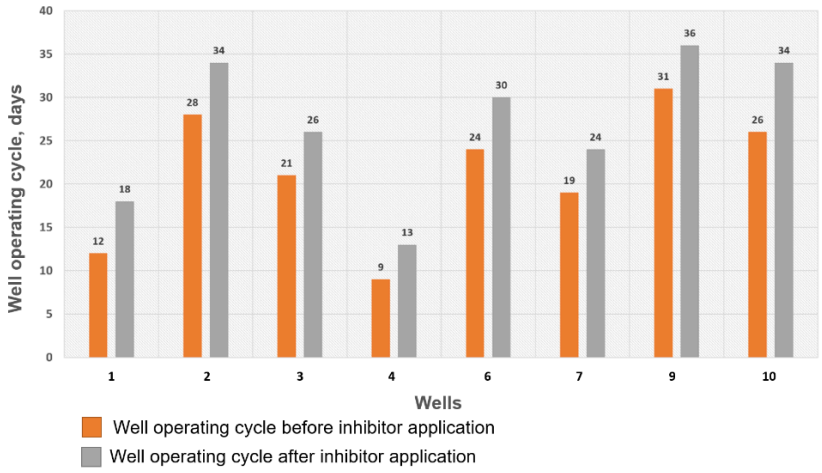


Fig. 3 - Comparison of well operating cycles before and after inhibitor application

For comparison, the average operating cycle of the studied wells before inhibitor application was 21 days. The introduction of the inhibitor-dissolver reagent increased the average operating cycle by approximately 30%, demonstrating enhanced well performance and reduced clogging of well screens and the adjacent near-wellbore formation zone.

Comparison with previously reported studies [13, 14] indicates that treatment of process wells with 50 kg of ammonium bifluoride per well, as well as a combined rehabilitation method involving chemical and mechanical treatment, extended the operating cycle of wells to 12-18 days. Nevertheless, the application of ammonium bifluoride is associated with significant operational limitations, as it is a hazardous chemical requiring additional expenditures and strict safety measures for storage, transportation, and reagent injection into the leaching solution circuit.

Conclusion. The laboratory studies demonstrated that the application of the inhibitor-dissolver reagent promotes the dissolution of calcium-bearing compounds comprising the clogging deposits formed during uranium in-situ leaching. The obtained results indicate an increased transfer of calcium into the liquid phase and a reduced likelihood of its re-precipitation under the investigated conditions. Therefore, the reagent can be considered a promising approach for mitigating clogging processes in well screens and the near-wellbore zone of process wells.

It was established that the dissolution efficiency of calcium-bearing deposits depends on the concentration of the inhibitor-dissolver reagent. Within the investigated reagent concentration range of 1-4%, a concentration of 2% was considered the preferred option.

The results of the pilot-scale field tests indicate the practical applicability of the inhibitor-dissolver reagent under the investigated production conditions. During the testing period, the use of the reagent increased the average operating cycle of process wells by 28% compared with wells operated under similar conditions without reagent application. These findings suggest that the reagent may contribute to improved operational stability of wellfields and mitigation of clogging-related effects on well performance under the investigated conditions.

Overall, the obtained results indicate that the use of the inhibitor-dissolver reagent may be a promising approach for preventing and mitigating calcium-related clogging during uranium in-situ leaching. However, due to the observational pilot-scale nature of the study and the absence of a parallel control group, the observed effects should be interpreted with caution. Additional controlled and long-term field studies are required to confirm the effectiveness of the proposed approach and to establish causal relationships between reagent application and changes in well operating performance.

Funding. *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26198685).*

Литература

1. Mudd G. M. Acid In Situ Leach uranium mining - 2. Soviet Block and Asia. // in book Tailings and Mine Waste. −2002.- P. 527536. DOI 10.1201/9781003078579-68.

2. Li G., & Yao J. A Review of in Situ Leaching (ISL) for Uranium Mining//Mining. - 2024.- Vol.4(1). - P.120-148. DOI 10.3390/mining4010009.
3. Маулетбекова Б.К., Калиев Б.З., Карманов Т.Д., Зотов В.В. Уран кен орындарының технологиялық ұңғымаларын бұрғылау кезінде пайдаланылған бұрғылау ерітінділерін кәдеге жарату үшін реагенттер мен құрылғыларды қолдану//Горный Журнал Казахстана. −2023. - Vol.10(222). -С.19-24. DOI 10.48498/minmag.2023.222.10.007.
4. Yussupov K., Abdissattar G., Aben E., Myrzakhmetov S., Akhmetkanov D., Yelzhanov E. A Novel Process for Decolmatation of Wells During In Situ Leach Mining of Uranium//Civil Engineering Journal. −2025.-Vol. 11(4). - P.1447–1457. DOI 10.28991/cej-2025-11-04-011.
5. Бабкин А. С., Иванов А.Г., Арсентьев Ю.А, Мешков Е.Ю., Чернобровкин Н.А., Орехов Д.Д., Гаврилов Р.И. Кольматация фильтров и прифильтровых зон технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана// Вестник РАЕН. −2025. -№ 3.- С.11-23. DOI 10.52531/1682-1696-2025-25-3-11-23.
6. Арсентьев Ю. А., Назаров А. П.Соловьев Н. В., Иванов Д. А., Иванов А. Г. Определение межремонтного цикла для технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана// Известия высших учебных заведений, Геология и разведка.-2024.-№ 6(1).- С.99-108. DOI 10.32454/0016-7762-2024-66-1-99-108.
7. Калтаев А., Құрмансейіт М. Б., Тунгатарова М. С. Моделирование и исследование процесса выщелачивания урана// Вестник КБТУ.-2025.- № 22(3).- С.186-198. DOI 10.55452/1998-6688-2025-22-3-186-198.
8. Tomson M.B., Kan A.T., Fu G. Control of Inhibitor Squeeze Through Mechanistic Understanding of Inhibitor Chemistry //SPE Journal. 2006.-Vol.11(03). - P.283–293. DOI 10.2118/87450-pa.
9. Панов Ю. П., Брюховецкий О. С., Секисов А. Г. К вопросу применения новых физико-химических геотехнологий освоения месторождений урановых руд// Известия высших учебных заведений, Геология и разведка. −2023. -№ 65(1). - С.8-14 DOI 10.32454/0016-7762-2023-65-1-8-14.
10. Abhilash, Pandey B. D. (2013). Microbially Assisted Leaching of Uranium-A Review//Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review.2013.-Vol.34(2). - P. 81-113. DOI 10.1080/08827508.2011.635731.
11. Sloby C. HEDP, hedp//Catalysis from A to Z.-2020 DOI 10.1002/9783527809080.cataz07857.
12. Kenzhetaev, Zh. S., Togizov, K. S., Omirgali, A. K., Aben, E. Kh., & Zhalikyzy, R. (2023). Intensification of inhibitor-assisted uranium ISL process. Series of Geology and Technical Sciences. −2023. Vol.3(459). - P.108–118. DOI 10.32014/2023.2518-170x.303.
13. Omarov A., Yussupov K., Yeluzakh M., Seitmaganbetov E. Study of an innovative optimisation method for repair and renewal of production wells in the central section of the Mynkuduk field //Geomechanics and Geoengineering. −2024.-Vol.20(1). -P.138-159. DOI 10.1080/17486025.2024.2367445.
14. Yusupov Kh. A., Elzhanov E. A., Aliev S. B., Dzhakupov D. A. Application of ammonium bifluoride for chemical treatment of wells in underground uranium leaching//Gornyi Zhurnal. −2017.-Vol.4.-P. 57–60. DOI 10.17580/gzh.2017.04.11.

References

1. Mudd G. M. Acid in Situ Leach uranium mining - 2. Soviet Block and Asia. // in book Tailings and Mine Waste. −2002.- P. 527536. DOI 10.1201/9781003078579-68.
2. Li G., & Yao J. A Review of in Situ Leaching (ISL) for Uranium Mining//Mining. - 2024.- Vol.4(1). - P.120-148. DOI 10.3390/mining4010009.
3. Mauletbekova B.K., Kaliev B.Z., Karmanov T.D., Zotov V.V. Uran ken oryndarynuң tehnologijalyқ ұңғymalaryn bұrғylau kezinde pajdalanylғan bұrғylau eritindilerin kədege zharatu үshin reagentter men qұrylғylardy қoldanu//Gornyj Zhurnal Kazahstana. −2023. - Vol.10(222). -S.19-24. DOI 10.48498/minmag.2023.222.10.007. [in Kazakh]
4. Yussupov K., Abdissattar G., Aben E., Myrzakhmetov S., Akhmetkanov D., Yelzhanov E. A Novel Process for Decolmatation of Wells During In Situ Leach Mining of Uranium//Civil Engineering Journal. −2025.-Vol. 11(4). - P.1447–1457. DOI 10.28991/cej-2025-11-04-011.
5. Babkin A. S., Ivanov A.G., Arsent'ev Ju.A, Meshkov E.Ju., Chernobrovkin N.A., Orehov D.D., Gavrilov R.I. Kol'matacija fil'trov i prifil'trovyh zon tehnologicheskih skvazhin skvazhinnogo podzemnogo vyshhelachivanija urana// Vestnik RAEN. −2025.-№ 3.- S.11-23. DOI 10.52531/1682–1696-2025-25-3-11-23. [in Russian]

6. Arsent'ev Ju. A., Nazarov A. P. Solov'ev N. V., Ivanov D. A., Ivanov A. G. Opredelenie mezhremontnogo cikla dlja tehnologicheskih skvazhin skvazhinnogo podzemnogo vyshhelachivanija urana// Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, Geologija i razvedka. −2024.-№ 6(1). - S.99-108. DOI 10.32454/0016-7762-2024-66-1-99-108. [in Russian]
7. Kaltaev A., Құrmansejit M. B., Tungatarova M. S. Modelirovanie i issledovanie processa vyshhelachivanija urana// Vestnik KBTU. −2025.- № 22(3). - S.186-198. DOI 10.55452/1998-6688-2025-22-3-186-198. [in Russian]
8. Tomson M.B., Kan A.T., Fu G. Control of Inhibitor Squeeze Through Mechanistic Understanding of Inhibitor Chemistry //SPE Journal. 2006.-Vol.11(03). - P.283–293. DOI 10.2118/87450-pa.
9. Panov Ju. P., Brjuhoveckij O. S., Sekisov A. G. K voprosu primenenija novyh fiziko-himicheskih geotehnologij osvoenija mestorozhdenij uranovyh rud// Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij, Geologija i rarazvedka. −23. -№ 65(1). - S.8-14. DOI 10.32454/0016-7762-2023-65-1-8-14. [in Russian]
10. Sloby C. HEDP, hedp//Catalysis from A to Z.-2020 DOI 10.1002/9783527809080.cataz07857.
11. Kenzhetaev, Zh. S., Togizov, K. S., Omirgali, A. K., Aben, E. Kh., & Zhalikyzy, R. (2023). Intensification of inhibitor-assisted uranium ISL process. Series of Geology and Technical Sciences. −2023. Vol.3(459). - P.108–118. DOI 10.32014/2023.2518-170x.303.
12. Omarov A., Yussupov K., Yeluzakh M., Seitmaganbetov E. Study of an innovative optimisation method for repair and renewal of production wells in the central section of the Mynkuduk field //Geomechanics and Geoengineering. −2024.-Vol.20(1). -P.138-159. DOI 10.1080/17486025.2024.2367445.
13. Yusupov Kh. A., Elzhanov E. A., Aliev S. B., Dzhakupov D. A. Application of ammonium bifluoride for chemical treatment of wells in underground uranium leaching//Gornyi Zhurnal. −2017.-Vol.4.-P. 57–60. DOI 10.17580/gzh.2017.04.11.

Information about the authors

Yussupov Kh. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: k.yussupov@satbayev.university;

Drebenstedt C. - Professor, Technische Universität Bergakademie Freiberg (TU Bergakademie Freiberg), Freiberg, Germany, e-mail: carsten.drebenstedt@mabb.tu-freiberg.de;

Myrzakhmetov S. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: s.myrzakhmetov@satbayev.university;

Aben E.- Candidate of Technical Sciences, Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: y.aben@satbayev.university;

Abdissattar G. - Ph.D. Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, email: gulfarizadaa@mail.ru;

Nazarbayeva N.- Ph.D. Student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, email: nazim_03.91@mail.ru.

Информация об авторах

Юсупов Х. А. - д.т.н., профессор кафедры Горного дела, Satbayev University, Алматы, Казахстан, email: k.yussupov@satbayev.university;

Дребенштедт К. - профессор Фрайбергской горной академии Технического университета, Фрайберг, Германия, email: carsten.drebenstedt@mabb.tu-freiberg.de;

Мырзахметов С.С. - к.т.н., ассоциированный профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан, email: s.myrzakhmetov@satbaev.university;

Абен Е.Х. - к.т.н., профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан, email: y.aben@satbaev.university;

Әбдісатар Г. - докторант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, email: gulfarizadaa@mail.ru;

Назарбаева Н. А. - докторант, Satbayev University, Алматы, Казахстан, email: nazim_03.91@mail.ru.

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-6

ӨҢДЕУШІ ӨНЕРКӘСІП ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНІҢ ДЕНСАУЛЫҚ ЖАҒДАЙЫНА ЗИЯНДЫ ӨНДІРІСТІК ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІ

Л.М. Актаева, **А.Б. Бекмагамбетов**, **Л.И. Едильбаева**, **А.Ш. Ташенов**✉, **Н.Т. Сагиндикова**

[1] Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан
✉ *Корреспондент-автор: wl_t@mail.ru*

Өңдеуші өнеркәсіп кәсіпорындарындағы зиянды өндірістік факторлардың әсері еңбек медицинасының өзекті мәселелерінің бірі болып қала береді, себебі негізгі технологиялық мамандықтар жұмысшылары арасында кәсіптік шартталған аурулар мен өндірістік жарақаттану деңгейі жоғары. Зерттеудің мақсаты - өңдеуші өнеркәсіп кәсіпорындары жұмысшыларының еңбек жағдайларына кешенді гигиеналық және медициналық-функционалдық бағалау жүргізу және зиянды өндірістік факторлардың олардың денсаулық жағдайына әсерін анықтау.

Өңдеуші өнеркәсіп кәсіпорындары жұмысшыларының еңбек жағдайларына гигиеналық бағалау жүргізіліп, жұмыс аймағындағы ауадағы шу, діріл, шаңдану деңгейлері және әлсіз фиброгенді аэрозольдердің мөлшері талданды. Жұмысшылардың денсаулық жағдайына медициналық-функционалдық бағалау жүргізіліп, өндірістік шартталған аурулардың салыстырмалы тәуекелі (RR) мен этиологиялық үлесі (EF) анықталды.

Негізгі технологиялық мамандықтар жұмысшыларында шу, діріл, бейорганикалық шаң және әлсіз фиброгенді аэрозольдер деңгейінің шекті мөлшерден жоғары екендігі анықталды. Еңбек жағдайлары кәсіби тәуекелдің орташа және жоғары деңгейімен сипатталатын зиянды 3.1-3.2 сыныптарына сәйкес келді. Анықталған патология құрылымында тірек-қимыл аппараты аурулары, жоғарғы тыныс алу жолдарының аурулары және өндірістік жарақаттану басым болды.

Салыстырмалы тәуекелдің (RR=2,0-5,0) және этиологиялық үлестің (EF=49,9-80,0%) жоғары көрсеткіштері анықталып, зиянды өндірістік факторлардың әсері мен денсаулық бұзылыстарының дамуы арасындағы маңызды байланыс расталды. Ең жоғары кәсіби тәуекел ұзақ уақыт бойы шу, діріл және өндірістік аэрозольдердің әсеріне ұшырайтын жұмысшылар арасында тіркелді. Өндірістік жарақаттану деңгейі 60,64%-ды құрады, бұл қолайсыз еңбек жағдайларының жұмысшылар денсаулығына елеулі әсерін көрсетеді.

Алынған нәтижелер зиянды өндірістік факторлардың өңдеуші өнеркәсіп жұмысшыларының денсаулық жағдайына айқын теріс әсер ететінін дәлелдейді және физикалық әрі аэрозольдік факторлардың әсерін төмендетуге, еңбек жағдайларын жақсартуға және кәсіптік шартталған аурулардың алдын алуға бағытталған кәсіби тәуекелдерді басқару жүйесін жетілдіру қажеттігін растайды.

Түйін сөздер: өңдеуші өнеркәсіп, еңбек жағдайлары, кәсіби тәуекел, өндірістік факторлар, шу, діріл, өндірістік аэрозольдер, тірек-қимыл аппараты аурулары, тыныс алу мүшелерінің аурулары, өндірістік жарақаттану.

ВЛИЯНИЕ ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Л.М. Актаева, **А.Б. Бекмагамбетов**, **Л.И. Едильбаева**, **А.Ш. Ташенов**✉, **Н.Т. Сагиндикова**

[1] РГП на ПХВ Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защите населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан
✉ *e-mail: wl_t@mail.ru*

Воздействие вредных производственных факторов на предприятиях обрабатывающей промышленности остается одной из актуальных проблем медицины труда в связи с высоким уровнем профессионально обусловленной заболеваемости и производственного травматизма среди работников основных технологических профессий. Цель исследования – провести комплексную гигиеническую и медико-функциональную оценку условий труда и определить влияние вредных производственных факторов на состояние здоровья работников предприятий обрабатывающей промышленности.

Проведена гигиеническая оценка условий труда работников предприятий обрабатывающей промышленности с анализом уровней шума, вибрации, запыленности и содержания слабофиброгенных аэрозолей в воздухе рабочей зоны. Выполнена медико-функциональная оценка состояния здоровья работников с определением относительного риска (RR) и этиологической доли (EF) производственно-обусловленных заболеваний.

У работников основных технологических профессий выявлены превышения уровней шума, вибрации, неорганической пыли и слабофиброгенных аэрозолей. Условия труда соответствовали вредным классам 3.1–3.2 с умеренной и высокой степенью профессионального риска. В структуре выявленной патологии преобладали заболевания опорно-двигательной системы, заболевания верхних дыхательных путей и производственный травматизм.

Установлены высокие показатели относительного риска (RR=2,0–5,0) и этиологической доли (EF=49,9–80,0%), подтверждающие значимую связь между воздействием вредных производственных факторов и развитием нарушений здоровья. Наиболее высокий профессиональный риск зарегистрирован у работников, подвергающихся длительному воздействию шума, вибрации и промышленных аэрозолей. Производственный травматизм составил 60,64%, что свидетельствует о значительном влиянии неблагоприятных условий труда на здоровье работников.

Полученные результаты свидетельствуют о выраженном негативном влиянии вредных производственных факторов на состояние здоровья работников обрабатывающей промышленности и подтверждают необходимость совершенствования системы управления профессиональными рисками, направленной на снижение воздействия физических и аэрозольных факторов, улучшение условий труда и профилактику профессионально обусловленных заболеваний.

Ключевые слова: обрабатывающая промышленность, условия труда, профессиональный риск, производственные факторы, шум, вибрация, промышленные аэрозоли, заболевания опорно-двигательной системы, заболевания органов дыхания, производственный травматизм.

IMPACT OF HARMFUL OCCUPATIONAL FACTORS ON THE HEALTH STATUS OF MANUFACTURING INDUSTRY WORKERS

L.M. Aktayeva, **A.B. Bekmagambetov**, **L.I. Yedilbayeva**, **A.Sh. Tashenov**✉, **N.T. Sagindikova**

[1] *RSE at the National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*

✉ *e-mail: wl_t@mail.ru*

The impact of harmful occupational factors at manufacturing industry enterprises remains one of the pressing issues in occupational medicine due to the high prevalence of work-related diseases and occupational injuries among workers engaged in core technological operations. The aim of the study was to conduct a comprehensive hygienic and medical-functional assessment of working conditions and to determine the influence of harmful occupational factors on the health status of workers employed in manufacturing enterprises.

A hygienic assessment of working conditions was carried out with analysis of noise, vibration, dust levels, and concentrations of low-fibrogenic aerosols in the workplace air. A medical-functional assessment of workers' health status was also performed, including determination of the relative risk (RR) and etiological fraction (EF) of occupationally related diseases.

Workers involved in core technological processes were found to be exposed to excessive levels of noise, vibration, inorganic dust, and low-fibrogenic aerosols. Working conditions corresponded to hazardous classes 3.1-3.2, characterized by moderate to high levels of occupational risk. The identified morbidity structure was dominated by musculoskeletal disorders, upper respiratory tract diseases, and occupational injuries.

High values of relative risk (RR = 2.0-5.0) and etiological fraction (EF = 49.9-80.0%) were established, confirming a significant association between exposure to harmful occupational factors and the development of health disorders. The highest occupational risk was recorded among workers exposed to prolonged effects of noise, vibration, and industrial aerosols. Occupational injuries accounted for 60.64%, indicating a substantial adverse impact of unfavorable working conditions on workers' health.

The obtained results demonstrate the pronounced negative effect of harmful occupational factors on the health status of manufacturing industry workers and confirm the necessity of improving the occupational risk management system aimed at reducing exposure to physical and aerosol factors, enhancing working conditions, and preventing occupationally related diseases.

Keywords: manufacturing industry, working conditions, occupational risk, occupational factors, noise, vibration, industrial aerosols, musculoskeletal disorders, respiratory diseases, occupational injuries.

Кіріспе. Өңдеуші өнеркәсіп саласы мемлекеттік экономиканың құрылымында маңызды орын алады, технологиялық дамуды қамтамасыз етіп, көптеген жұмыс орындарын қалыптастырады. Сонымен қатар, бұл саладағы өндірістік процестер жұмыс орнындағы бірқатар қолайсыз факторлардың әсерімен қатар жүреді, олардың ішінде өндірістік ортаның физикалық факторлары ерекше орын алады. Оларға шу, діріл, жоғары және төмен температуралар, шаңдану, жеткіліксіз жарықтандыру, сондай-ақ электромагниттік және иондаушы сәулелену жатады.

Аталған факторлардың әсері жүйелі және ұзақ мерзімді сипатқа ие болып, қызметкерлердің жалпы еңбекке қабілеттілігіне, денсаулығына және адамның иммундық жүйесіне тікелей ықпал етеді [1]. Сонымен қатар, өндірістік процестердің қарқындануы және жаңа жабдықтардың енгізілуі жағдайында кәсіби тәуекелдердің құрылымы өзгеріп қана қоймай, қосымша ғылыми қайта қарастыруды талап ететін жаңа әсер ету түрлері де пайда болуда.

Зерттеудің өзектілігі өңдеуші өнеркәсіп саласының ерекшеліктерін ескере отырып, физикалық факторлардың адам ағзасына әсерін кешенді талдау қажеттілігімен, сондай-ақ кәсіби тәуекелдерді төмендету мен қызметкерлердің қауіпсіздігін арттыруға бағытталған тиімді шараларды әзірлеумен негізделеді. Зерттеу жұмыс орындарындағы микроклимат параметрлерін аспаптық өлшеуді, құжаттамаларды, еңбек жағдайлары бойынша жұмыс орындарын аттестаттау материалдарын, сондай-ақ кәсіпорында 2024 жылы жүргізілген кәсіби тәуекелдерді бағалау жөніндегі есептерді зерделеуді қамтитын кешенді тәсіл негізінде жүргізілді.

Өндірістік ортаның физикалық факторлары - шу, діріл, жеткіліксіз жарықтандыру, сондай-ақ эргономикалық жүктемелер - өңдеуші өнеркәсіптегі негізгі кәсіби тәуекелдердің бірі болып қала береді. Бұл сала қызметкерлері ауыр жабдықтарды, конвейерлік желілерді және қолмен механикаландырылған құралдарды пайдалану салдарынан аталған факторлардың бірлескен әсеріне жиі ұшырайды, бұл кәсіптік аурулардың дамуына және жалпы әл-ауқаттың төмендеуіне әкеледі [2, 3].

Өндірістік шу ең көп зерттелген физикалық факторлардың бірі болып қала береді. Қазіргі зерттеулер 85 дБА-дан жоғары шу деңгейінің ұзақ уақыт әсер етуі өңдеуші өнеркәсіп қызметкерлері арасында әлі де кең таралған шу әсерінен туындайтын есту қабілетінің төмендеуіне әкелетінін растайды [4, 5]. Шетелдік авторлардың соңғы еңбектері шуға байланысты есту қабілетінің жоғалу қаупі айқын дозалық тәуелді сипатқа ие екенін және еңбек өтілі 5-10 жылдан асқан жағдайда, әсіресе есту мүшелерін жеке қорғау құралдарын тұрақсыз қолдану кезінде, айтарлықтай артатынын көрсетеді [6, 7].

Өзекті деректерге сәйкес, созылмалы шу әсері стресс деңгейін, артериялық қысымды жоғарылатып, ұйқы мен когнитивтік функциялардың бұзылуына алып келеді. Металлургия және машина жасау өнеркәсібі қызметкерлеріне жүргізілген соңғы зерттеулерде физиологиялық стресстің айқын күшеюі және реакциялардың баяулауы анықталған [8, 9].

Діріл физикалық қауіп факторларының ішінде маңызды орын алады. Қазіргі зерттеулер қолмен механикаландырылған құралдарды ұзақ уақыт пайдалану вазоспастикалық және нейросенсорлық бұзылыстармен сипатталатын діріл әсерінен туындайтын "ақ саусақ" синдромының дамуына әкелетінін көрсетеді. Соңғы ғылыми жұмыстар жалпы дірілдің бел омыртқасы аймағындағы ауырсынулармен және басқа да тірек-қимыл жүйесінің бұзылыстарымен байланысын растайды [10, 11].

Тірек-қимыл аппаратының еңбек жағдайларына байланысты бұзылыстары өңдеуші өнеркәсіпте еңбекке қабілеттілікті жоғалтудың негізгі себептерінің бірі болып қала береді. Соңғы жылдары автомобиль және машина жасау өнеркәсібі қызметкерлері арасында жүргізілген өзекті мета-талдаулар мен көлденең зерттеулер өндірістік факторлармен байланысты тірек-қимыл аппараты бұзылыстарының, әсіресе мойын, иық, арқа және жоғарғы аяқ-қол аймақтарында, кең таралғанын көрсетті [12, 13]. Қазіргі зерттеушілер бұл бұзылыстардың дамуы қайталанатын қозғалыстардың, статикалық қолайсыз қалыптардың, ауыр заттарды көтерудің және діріл әсерінің үйлесуімен байланысты екенін атап көрсетеді. Жұмыс орындарының жеткіліксіз ұйымдастырылуы жағдайында эргономикалық тәуекелдер айтарлықтай күшейеді [14].

Температуралық факторлар мен жарықтандыру да елеулі әсер етеді. Соңғы зерттеулер жоғары температураның шу және физикалық жүктемемен үйлесуі артериялық гипертензия, сусыздану және өндірістік жарақаттану қаупін арттыратынын, ал тиімсіз жарықтандыру көру мүшелерінің және жалпы ағзаның тез шаршауына ықпал ететінін көрсетеді [2, 15].

Өңдеуші өнеркәсіп жағдайында бейорганикалық шаң әсері ең кең таралған зиянды факторлардың бірі болып табылады. Минералдық шикізатты өңдеуге, ұсақтауға және соған ұқсас технологиялық процестерге байланысты өндірістерде ауаға фосфориттер, кварц құрамды қосылыстар және басқа минералдық компоненттердің бөлшектерін қамтитын бейорганикалық аэрозольдер тұрақты түрде бөлінеді. Дисперсті бөлшектердің мөлшері олардың тыныс алу жолдарына ену тереңдігін анықтайды: ұсақ дисперсті шаң өкпеге дейін жетіп, тіндерде жиналып, созылмалы патологиялық өзгерістердің дамуына себеп болуы мүмкін.

Қазіргі зерттеулер физикалық қауіп факторлары әсерінің көпфакторлы сипатын ерекше атап көрсетеді. Өндірістік ортада олар сирек жағдайда жеке әсер етеді және көбінесе психоәлеуметтік жүктемелермен қатар жүріп, қызметкерлер денсаулығына қолайсыз ықпалын күшейтеді. Өндірістік процестердің цифрландырылуына (Industry 4.0) қарамастан, дәстүрлі физикалық қауіп факторларының әсері өзектілігін сақтап отыр [16]. Осылайша, қазіргі ғылыми деректер қызметкерлер денсаулығына ең жоғары қауіптің жекелеген факторлардың оқшауланған әсерінен емес, олардың біріктірілген ықпалынан туындайтынын, ал бұл әсердің есту, жүрек-қантамыр және тірек-қимыл жүйесі бұзылыстарының дамуында шешуші рөл атқаратынын көрсетеді.

Зерттеудің мақсаты - өңдеуші өнеркәсіп кәсіпорындары қызметкерлерінің еңбек жағдайларына кешенді гигиеналық және медициналық-функционалдық бағалау жүргізу және зиянды өндірістік факторлардың олардың денсаулық жағдайына әсерін анықтау.

Зерттеу нысаны ретінде өңдеуші өнеркәсіп саласындағы екі пилоттық кәсіпорын алынды.

Зерттеу пәні - өндірістік орта факторларының негізгі технологиялық мамандық қызметкерлерінің денсаулық жағдайына әсері.

Материалдар мен әдістер. Бірінші кәсіпорын (№1) сары фосфор мен фосфорқұрамды өнімдер өндіруге маманданған химиялық өндіріс болып табылады. №1 кәсіпорынның өндірістік қызметі тағамдық химия өнімдерін шығаруды қамтиды, оның ішінде агломерат, сары фосфор, техникалық термиялық ортофосфор қышқылы, техникалық натрий триполифосфаты, техникалық натрий гексаметафосфаты, түйіршіктелген термофосфорлы қож, феррофосфор, техникалық түйіршіктелген натрий триполифосфаты, тағамдық ортофосфор қышқылы және тағамдық натрий триполифосфаты өндіріледі.

№ 5 цехта негізгі технологиялық жабдық ретінде науалы көлбеу ленталы конвейер, науалы көлденең реверсивті ленталы конвейер, кран-балка, пеш бункері, фосфор қабылдағыш, фосфор конденсаторы, ортадан тепкіш сорғы, секторлы жапқыш, фосфор пеші, тік фосфорлы электрсүзгі, батырмалы сорғы және қорғаныш гидрожапқыш қолданылады.

Өндірістік цехта өндірістегі жазатайым оқиғалардың алдын алу мақсатында дабыл беру және бұғаттау жүйелері, электр тогынан зақымданудан, өндірістік жабдықтардан және биіктіктен құлаудан қорғау құралдарын қамтитын ұжымдық қорғаныс құралдары жұмыс істейді.

Ұжымдық қорғаныс құралдарының құрамына ЦН-15 циклоны, ФРКДИ-1100 жеңді сүзгісі, СКЦН-34 циклоны және ФРКИ-360 типті жеңді сүзгілер кіреді.

Еңбек жағдайларын бағалау өндірістік орта факторларын аспаптық өлшеу нәтижелері негізінде қолданыстағы санитариялық-гигиеналық нормативтерге сәйкес жүргізілді. Медициналық-функционалдық бағалау қызметкерлердің уақытша еңбекке жарамсыздық көрсеткіштерін талдауды, сондай-ақ өндірістік факторларға байланысты аурулардың салыстырмалы тәуекелін (RR) және этиологиялық үлесін (EF) анықтауды қамтыды.

Салыстырмалы тәуекел (RR) келесі формуланы (1) пайдаланып есептелді:

$$RR = \frac{\frac{a}{e}}{\frac{c}{f}} = \frac{af}{ce} \quad (1)$$

мұндағы:

a – фактор әсеріне ұшыраған топта тіркелген науқастар саны,

c – бақылау тобындағы науқастар саны,

e – фактор әсеріне ұшыраған топтағы адамдардың жалпы саны,

f – бақылау тобындағы адамдардың жалпы саны.

Этиологиялық үлес (EF) келесі формула (2) бойынша анықталды:

$$EF = \frac{(RR-1)}{RR} \times 100\% \quad (2)$$

мұндағы:

EF – этиологиялық үлес, %;

RR – салыстырмалы тәуекел.

Кәсіби тәуекел дәрежесін бағалау RR және EF көрсеткіштерінің мәндері негізінде тәуекелге бағдарланған тәсілге сәйкес жүргізілді.

Салыстырмалы тәуекел көрсеткіштерін интерпретациялау келесідей жүргізілді: RR<1 - тәуекелдің болмауы; RR=1-1,5 - төмен тәуекел; RR=1,5-2,0 - күмәнді тәуекел; RR=2,0-3,2 - жоғары тәуекел; RR>3,2 - өте жоғары тәуекел.

Нәтижелер мен талқылау. 2024 жылы кәсіпорында 9 кәсіптік ауру тіркелді, олардың қатарында II дәрежелі фосфор қосылыстарымен созылмалы интоксикация, I дәрежелі тыныс алу жеткіліксіздігі, ойық жара ауруы, созылмалы дуоденит және холецистит анықталды. Сонымен қатар, тірек-қимыл аппараты аурулары (жарық, артроз, артрит және т.б.), жүрек-қантамыр жүйесі (бұдан әрі - ЖҚЖ), орталық жүйке жүйесі (бұдан әрі - ОЖЖ), бронхөкпе және несеп-жыныс жүйесі аурулары байқалды.

1-кестеде физикалық факторлардың көрсеткіштері, олардың шекті рұқсат етілген концентрациялары (бұдан әрі - ШРК), сондай-ақ қызметкерлердегі (мамандықтар бойынша) ШРК-дан асатын гигиеналық көрсеткіштер ұсынылған.

1-кесте. Өндірістік факторлардың гигиеналық сипаттамасы (№1 пилоттық кәсіпорын)

№	Зиянды факторлар	ШРК	Көрсеткіштері	ЕЖС/кәсіби тәуекел дәрежесі	Кәсіптер
1.	Діріл	116 дБа	119 дБа	3.1/2	Газ тазалау аппаратшысы
2.	Шу	80 дБа	80,2–87,4 дБа	3.1/2	Қашықтан басқару пультінің операторы, шихта дайындаушы, сары фосфор өндірісінің аппаратшысы (грануляция), араластырғыш операторы, елеу аппаратшысы, сары фосфор өндірісінің аппаратшысы (шихта дайындаушы), бункерлеуші, конвейер машинисі, сары фосфор өндірісінің аппаратшысы (феррофосфорды құю бойынша), сары фосфор өндірісінің аппаратшысы (конденсация), сары фосфор өндірісінің аппаратшысы (шаң-газ ұстағыш жабдықтарға қызмет көрсету бойынша), сары фосфор өндірісінің аппаратшысы (утилизация), сары фосфор өндірісінің аппаратшысы (электрсүзгілерді тазалау бойынша), кран машинисі, газ тазалау аппаратшысы, электродшы
3.	Жарықтандырудың жеткіліксіздігі	200 лк	69–126 лк	3.1	Қашықтан басқару пультінің операторы, шихта дайындаушы, елеу аппаратшысы, бункерлеуші, конвейер машинисі, кран машинисі
4.	Бейорганикалық шаң (шихта)	6,0 мг/м^3	8,46–16,1 мг/м^3	3.2	Қашықтан басқару пультінің операторы, шихта дайындаушы, елеу аппаратшысы, бункерлеуші, конвейер машинисі
5.	Бейорганикалық шаң (кокс, фосфорит, гипс)	6,0 мг/м^3	8,46 мг/м^3	3.2	Электргазбен дәнекерлеуші, жөндеуші слесарь, кран машинисі, электродшы, араластырғыш операторы
6.	Бейорганикалық шаң (кварцит)	1,0 мг/м^3	2,2 мг/м^3	3.2	Электргазбен дәнекерлеуші, кран машинисі

Еңбек жағдайларын талдау негізгі технологиялық мамандық қызметкерлерінде шу, діріл және бейорганикалық шаң деңгейлерінің жоғарылағанын көрсетті. Еңбек жағдайлары зиянды еңбек жағдайларының 3.1-3.2 кластарына сәйкес келді.

Қашықтан басқару пультінің операторы, шихта дайындаушы, елеу аппаратшысы, бункерлеуші, конвейер машинисі, электргазбен дәнекерлеуші, жөндеуші слесарь, кран машинисі, электродшы және араластырғыш операторы мамандықтарында шаңдану деңгейінің жоғарылауы анықталды, атап айтқанда

бейорганикалық шаң (шихта), бейорганикалық шаң (кокс, фосфорит, гипс) және бейорганикалық шаң (кварцит). Гигиеналық бағалау нәтижелері бойынша еңбек жағдайлары кәсіби тәуекелдің 3.2/3 дәрежесіне сәйкес келетін елеулі деңгейдегі зиянды еңбек жағдайлары ретінде бағаланды.

Екінші кәсіпорын (№2) минералды тыңайтқыштар өндіруге маманданған. Кәсіпорындағы негізгі технологиялық жабдықтарға элеватор, виброгрохот, тізбекті ұсатқыш, балғалы ұсатқыш, буландыру аппараты және электрлі таль жатады. №2 кәсіпорында жыл сайынғы медициналық тексерулер жүргізіліп, зиянды еңбек жағдайларында жұмыс істейтін қызметкерлер емдік-профилактикалық тамақтанумен қамтамасыз етіледі.

№2 кәсіпорында мысал ретінде экстракциялық фосфор қышқылы (ЭФҚ) цехы алынды. ЭФҚ цехының өндіріс әдісі - дигидратты процесс, ол 90-95°С температурада және пульпаның сұйық фазасындағы P2O5 мөлшері кемінде 22% болған жағдайда жүзеге асырылады. Температураны ұстап тұру үшін көбікті режимдегі ауамен салқындату қолданылып, пульпаны бөлу және өнімдік фосфор қышқылын алу таспалы вакуум-сүзгілерде жүргізіледі. Цехта кессонды сорғы, қоректендіргіш сорғы, үрлегіш, деаэратор, грейферлі көпірлі кран, конвейер таспасы және электрлебедка сияқты технологиялық жабдықтар қолданылады. Ұжымдық қорғаныс құралдарына желдеткіш, сорғы, сорып шығару жүйесі, газ қорабы, ауамен салқындату аппараты және таспалы вакуум-сүзгі кіреді.

Кәсіпорында 2 кәсіптік ауру жағдайы тіркелді, олардың ішінде II сатыдағы фосфор қосылыстарымен созылмалы интоксикация, пилоростың атониясы, созылмалы бульбит, өт шығару жолдарының дискинезиясы және басқа да аурулар басым болды. Сонымен қатар, тірек-қимыл аппараты аурулары (жарық, артроз, артрит), жақ-бет жүйесінің артрозы, жүрек-қантамыр жүйесі (ЖҚЖ), орталық жүйке жүйесі (ОЖЖ), бронхөкпе және несеп-жыныс жүйесі аурулары байқалды.

2-кестеде физикалық факторлардың көрсеткіштері, олардың шекті рұқсат етілген концентрациялары (бұдан әрі - ШРК), сондай-ақ қызметкерлердегі (мамандықтар бойынша) ШРК-дан асатын гигиеналық көрсеткіштер ұсынылған.

2-кесте. Өндірістік факторлардың гигиеналық сипаттамасы (№ 2 пилоттық кәсіпорын)

№	Зиянды факторлар	ШРК	Көрсеткіштер	ЕЖС	Кәсіптер
1.	Діріл	116 дБ	120 дБ	3.1	Электр жабдықтарын жөндеу жөніндегі аға шебер, электр жабдықтарын жөндеу және қызмет көрсету жөніндегі слесарь-электрик / кезекші слесарь-электрик
2.	Шу	80 дБа	85,3-86,0 дБа	3.2	Цех шебері/аппаратуралық жабдықтарды жөндеу шебері, энергетик, электр жабдықтарын жөндеу жөніндегі аға шебер, сіңіру аппаратшысы, Слесарь-жөндеуші / кезекші слесарь-жөндеуші, электр газбен дәнекерлеуші, слесарь - электр жабдықтарын жөндеу және қызмет көрсету жөніндегі электрик / кезекші слесарь-электр жабдықтарын жөндеу және қызмет көрсету жөніндегі электрик, күйдіру аппаратшысы, қазандық машинисі, түйіршіктеу аппаратшысы, сорғы қондырғыларының машинисі, кран машинисі, Кептіру аппаратшысы, қайта тиегіштердің машинисі, штабельдеуші машиналардың машинисі, шикізатты дайындау және жартылай фабрикаттар мен өнімдерді босату аппаратшысы, әкті сөндіру аппаратшысы
3.	Әлсіз фиброгенді аэрозольдер (фосфогипс шаңы)	6,0 мг/м^3	10,7 мг/м^3	3.1	Сіңіру аппаратшысы

№	Зиянды факторлар	ШРК	Көрсеткіштер	ЕЖС	Кәсіптер
4.	Әлсіз фиброгенді аэрозольдер (аммофос шаңы)	6,0 мг/м^3	10,7 мг/м^3	3.1.	Электргазбен дәнекерлеуші, жөндеуші слесарь, кран машинисі, электродшы, араластырғыш операторы
5.	Әлсіз фиброгенді аэрозольдер (аммофос шаңы)	6,0 мг/м^3	0,02-27,6 мг/м^3	3.1	Өндірістік және қызметтік үй-жайларды тазалаушы

Екінші пилоттық кәсіпорында, бірінші кәсіпорынмен салыстырғанда, шу факторы мен аэрозольдік жүктеме бойынша анағұрлым айқын жоғарылаулар байқалды, бұл жекелеген жұмыс орындарындағы еңбек жағдайларының жоғары кернеулілігін көрсетеді.

№ 2 кәсіпорында шу, діріл және әлсіз фиброгенді аэрозольдер деңгейінің жоғарылағаны анықталды, бұл 3.1–3.2 кластарындағы зиянды еңбек жағдайларына сәйкес келді.

2024 жыл бойынша уақытша еңбекке жарамсыздық парақтарына талдау жүргізілді. Барлығы 611 уақытша еңбекке жарамсыздық парағы, оның ішінде тұрмыстық жарақаттанудың 46 жағдайы талданды. Қызметкерлердің жалпы саны 151 адамды құрады, оның ішінде тәжірибелік топта – жұмысшы мамандықтарының 129 қызметкері, ал бақылау тобында – 22 инженерлік-техникалық қызметкер (ИТҚ) болды.

3-кесте. № 5 цех қызметкерлерінің уақытша еңбекке жарамсыздық парақтарына талдау

Топ атауы	Жалпы саны	Аурулар	Жарақаттар	Жоғарғы тыныс алу жолдарының аурулары	Сенсорлық аурулар	Жүрек-қантамыр аурулары	Асқазан-ішек жолы аурулары	Зәр шығару жүйесінің аурулары	Тірек-қимыл аппараты аурулары	Тері аурулары	Аллергиялық аурулар	Басқа аурулар
ИТҚ	49	10	1	4	0	1	1	0	2		1	0
Жұмысшылар	405	205	21	108	1	11	11	4	33		4	12
Барлығы	454	215	22	112	1	12	12	4	35		5	12
RR*			2,5	3,27		1,33	1,33		2,00			
EF**%			60,64	69,39%		23,10%	23,10%		49,91%			

Уақытша еңбекке жарамсыздық парақтарын талдау нәтижелері бойынша жұмысшы мамандықтарының қызметкерлері кәсіби тәуекелдің әртүрлі деңгейлеріне ұшырайтыны анықталды. Тіркелген аурулар құрылымында тірек-қимыл аппараты аурулары (41,2%) мен жоғарғы тыныс алу жолдарының аурулары (31,1%) басым болды.

Өндірістік жарақаттанудың жоғары таралуы (60,64%) негізгі технологиялық мамандық қызметкерлері арасында анықталды (3-кесте).

Осылайша, алынған мәліметтер еңбек жағдайларының қызметкерлер денсаулығына, әсіресе ас қорыту жүйесіне қолайсыз әсер ететінін көрсетеді, бұл ретте әсер ету деңгейі орташа дәрежеге жатқызылды.

ЭФҚ цехындағы медициналық-функционалдық бағалау деректері. Зерттеуге барлығы 221 адам қамтылды, олардың 197-сі тәжірибелік топта, ал 24-і бақылау тобында болды (4-кесте).

Екі пилоттық кәсіпорындағы еңбек жағдайларына жүргізілген гигиеналық бағалау нәтижелері негізгі технологиялық мамандық қызметкерлеріне өндірістік ортаның физикалық және аэрозольдік факторларының қолайсыз әсер ететінін көрсетті. №1 кәсіпорында негізгі технологиялық мамандық қызметкерлерінде шу деңгейінің (80,2-87,4 дБА) және дірілдің (119 дБА дейін) жоғарылауы анықталды, бұл орташа дәрежедегі зиянды еңбек жағдайларына (3.1-класс) және кәсіби тәуекелдің 2-дәрежесіне сәйкес келеді. Сонымен қатар, бірқатар мамандықтарда бейорганикалық шаңның (шихта, кокс, фосфорит, гипс, кварцит) концентрациясының жоғарылауы анықталып, ол елеулі дәрежедегі зиянды еңбек жағдайларына (3.2-класс) және кәсіби тәуе-

келдің 3-дәрежесіне сәйкес келді. №2 кәсіпорында жөндеу-пайдалану және технологиялық бейіндегі қызметкерлерде діріл деңгейінің 120 дБ-ге дейін және шу деңгейінің 85,3-86,0 дБА дейін жоғарылауы анықталды. Гигиеналық бағалау нәтижелері бойынша бұл еңбек жағдайлары кәсіби тәуекелдің 2-3 дәрежесімен сипатталатын 3.1-3.2 кластағы зиянды еңбек жағдайларына жатқызылды. Сонымен қатар, абсорбция аппаратшылары, электргазбен дәнекерлеушілер, жөндеуші слесарьлар, кран машинистері және басқа да қызметкерлерде әлсіз фиброгенді аэрозольдердің, соның ішінде фосфогипс пен аммофос шаңының концентрациясының жоғарылауы анықталды.

4-кесте. ЭФҚ цехы қызметкерлерінің уақытша еңбекке жарамсыздық парақтарын талдау

Топтар	**Аурулар**	**Тұрмыстық жарақаттар**	**Жоғарғы тыныс алу жолдарының аурулары**	**Сенсорлық аурулар**	**Жүрек-қантамыр аурулары**	**Асқазан-ішек жолы аурулары**	**Зәр шығару жүйесінің аурулары**	**Тірек-қимыл аппараты аурулары**	**Тері аурулары**	**Аллергиялық аурулар**	**Онкологиялық аурулар**	**Басқа аурулар**
Жұмысшылар	24	6	0	4	0	0	0	0	1	1	0	0
Барлығы	197	169	12	89	1	4	13	5	23	2	1	1
RR*	221	175	12	93	1	4	13	5	24	3	1	1
EF**%				2,7					2,8			
Еңбек жағдайларымен байланысы				63,00%					64,30%			
Жұмысшылар				жоғары					жоғары			

Пилоттық кәсіпорын қызметкерлеріне жүргізілген медициналық-функционалдық бағалау нәтижелері өндірістік орта мен еңбек процесінің зиянды факторларының әсерімен байланысты өндірістік-тәуелді денсаулық бұзылыстарының бар екенін көрсетті. №1 пилоттық кәсіпорында анықталған патология құрылымында тірек-қимыл аппараты аурулары (41,2%) және жоғарғы тыныс алу жолдарының аурулары (31,1%) басым болды. Жоғарғы тыныс алу жолдарының аурулары көбінесе негізгі технологиялық және жөндеу-пайдалану мамандықтарының қызметкерлерінде тіркелді. Анықталған салыстырмалы тәуекел көрсеткіші (RR=1,5) қолайсыз факторлардың ұзақ әсер етуі жағдайында өндірістік-тәуелді патологияның қалыптасу ықтималдығын көрсетеді. EF=31,11% анықталған бұзылыстардың орташа кәсіби шарттылығын көрсетеді.

№2 пилоттық кәсіпорында тірек-қимыл аппараты аурулары негізінен негізгі технологиялық мамандық қызметкерлері арасында басым болды. RR (2,7) және EF (63,0%) көрсеткіштерінің жоғары мәндері патологияның айқын кәсіби шарттылығын көрсетеді. Этиологиялық үлестің жоғары болуы (EF=63,0%) еңбек жағдайлары мен тірек-қимыл аппараты ауруларының дамуы арасындағы маңызды себеп-салдарлық байланысты растайды.

Медициналық-функционалдық бағалау нәтижелері негізгі технологиялық мамандық қызметкерлері арасында өндірістік-тәуелді денсаулық бұзылыстарының жоғары таралуын көрсетті. Анықталған патология құрылымында өндірістік жарақаттар (60,64%) басым болды және олар көбінесе негізгі технологиялық мамандық қызметкерлері арасында тіркелді. Алынған мәліметтер негізгі технологиялық мамандық қызметкерлері арасында өндірістік жарақаттану деңгейінің жоғары екенін көрсетеді.

Тірек-қимыл аппараты аурулары негізінен негізгі технологиялық мамандық қызметкерлерінде анықталды. RR=2,0 және EF=49,91% мәндері денсаулық бұзылыстары мен еңбек жағдайлары арасындағы маңызды байланысты көрсетеді. Этиологиялық үлес (EF=49,91%) аурулардың орташа кәсіби шарттылығын растайды, бұл өндірістік әсер ету факторларын анықтау және азайту қажеттілігін көрсетеді.

Жүрек-қантамыр жүйесі аурулары негізгі технологиялық және жөндеу-пайдалану мамандықтарының қызметкерлерінде тіркелді. Жүрек-қантамыр аурулары үшін RR (1,33) және EF (23,10%) көрсеткіштерінің төмен мәндері анықталды.

Негізгі технологиялық мамандық қызметкерлерінде тірек-қимыл аппараты аурулары кәсіби тәуекелдің өте жоғары деңгейімен (RR=2,7) және жоғары этиологиялық шарттылықпен (EF=63,0%) сипатталды, бұл еңбек жағдайларының патологияның дамуына дәлелденген әсерін және денсаулықтың тұрақты бұзылыстары мен мүгедектікке әкелетін жағдайлардың қалыптасу қаупін көрсетеді.

Алынған нәтижелер қазіргі заманғы зерттеулер деректерімен сәйкес келеді және өңдеуші өнеркәсіп қызметкерлерінде өндірістік-тәуелді аурулардың дамуында шу, діріл және өндірістік аэрозольдердің біріктірілген әсерінің маңызды рөлін көрсетеді. №2 кәсіпорындағы кәсіби тәуекел көрсеткіштерінің жоғары болуы аэрозольдік жүктеменің жоғары деңгейімен және технологиялық процестің ерекшеліктерімен байланысты болуы мүмкін.

Қорытынды. Кешенді гигиеналық және медициналық-функционалдық бағалау нәтижелері өңдеуші өнеркәсіп кәсіпорындарының қызметкерлері денсаулыққа елеулі кәсіби тәуекелдер қалыптастыратын зиянды өндірістік факторлар кешенінің әсеріне ұшырайтынын көрсетті. Зерттелген кәсіпорындарда негізгі технологиялық мамандық қызметкерлерінде шу, діріл, бейорганикалық шаң және әлсіз фиброгенді аэрозольдер деңгейінің жоғарылауы анықталды. Еңбек жағдайлары 3.1-3.2 кластағы зиянды еңбек жағдайларына сәйкес келді, бұл кәсіби тәуекелдің орташа және жоғары деңгейлерін сипаттайды.

Медициналық-функционалдық бағалау өндірістік-тәуелді денсаулық бұзылыстарының жоғары таралуын анықтады, олардың ішінде тірек-қимыл аппараты аурулары, жоғарғы тыныс алу жолдарының аурулары және өндірістік жарақаттану жетекші орын алды. Салыстырмалы тәуекелдің (RR=2,0-5,0) және этиологиялық үлестің (EF=49,9-80,0%) жоғары көрсеткіштері өндірістік ортаның зиянды факторларының әсері мен тірек-қимыл және тыныс алу жүйелері патологияларының дамуы арасындағы айқын себеп-салдарлық байланысты растайды. Ең жоғары кәсіби тәуекел ұзақ уақыт бойы шу, діріл және өндірістік аэрозольдердің әсеріне ұшырайтын қызметкерлер арасында анықталды.

Өндірістік жарақаттанудың жоғары таралуы (60,64%) еңбек жағдайларының қолайсыздығы мен технологиялық процестің ерекшеліктері қызметкерлердің денсаулық жағдайына елеулі әсер ететінін де көрсетеді. Жүрек-қантамыр ауруларына қатысты кәсіби шарттылықтың төменірек деңгейі анықталды, бұл әрі қарай динамикалық бақылау жүргізуді және өндірістік факторлардың әсерін тереңірек зерттеуді талап етеді.

Алынған нәтижелер химия өнеркәсібі кәсіпорындарында кәсіби тәуекелдерді басқару жүйесін жетілдіру қажеттілігін растайды, оның ішінде технологиялық процестерді жаңғырту, шу, діріл және шаңдану деңгейін төмендету, желдету жүйелерінің тиімділігін арттыру, жеке қорғаныс құралдарын жетілдіру және қызметкерлерге тұрақты медициналық мониторинг жүргізу қажет. Осы іс-шараларды іске асыру өндірістік-тәуелді патологиялар мен өндірістік жарақаттану деңгейін төмендетуге және қызметкерлердің еңбек әлеуетін сақтауға мүмкіндік береді.

Қаржыландыру. *Мақалада «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК-ның ғылыми - зерттеу жұмыстарын бағдарламалық - нысаналы қаржыландыру шеңберінде «Еңбек жағдайлары және кәсіптік тәуекелдер: «жасыл экономикаға» көшу шеңберінде топтастырудың жіктелуі, санаттары мен өлшемшарттары»» (ЖТН BR22182667) тақырып бойынша ғылыми-техникалық бағдарламаны іске асыру барысында алынған ғылыми зерттеулердің нәтижелері ұсынылған.*

Әдебиеттер

1. Кузьмина Л.П., Измерова Н.И., Хотулева А.Г., Цидилковская Э.С., Кислякова А.А., Мили Х. Влияние физических производственных факторов на иммунную систему // Медицина труда и промышленная экология. - 2023. Т.63(11). DOI 10/31089/1026-9428-2023-63-11-694-701.
2. Hahad O., Kuntic M., Al-Kindi S., Kuntic I., Gilan D., Petrowski K., Daiber A., Münzel T. Noise and mental health: evidence, mechanisms, and consequences // Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. - 2025. -Vol. 35. -P.16-23. DOI 10.1038/s41370-024-00642-5.
3. Hasanain B. The Role of Ergonomic and Human Factors in Sustainable Manufacturing: A Review//Machines. −2024. -Vol.12(3):159. DOI 10.3390/machines12030159.

4. Elshaer N., Meleis D., Mohamed A. Prevalence and correlates of occupational noise-induced hearing loss among workers in the steel industry/ Egyptian Public Health Association. - 2023. - Vol. 98(1):11. DOI 10.1186/s42506-023-00135-7.
5. Chen K.-T., Su S.-B. A review of occupational noise-induced hearing loss: focus on mechanisms and preventive measures // British Medical Bulletin. −2025. -Vol. 156(1). DOI 10.1093/bmb/ldaf020 .
6. He X., Xiao B., Wu J., Chen C., Li W., Yan M. Prevalence of work-related musculoskeletal disorders among workers in the automobile manufacturing industry in China: a systematic review and meta-analysis \// BMC Public Health. - 2023. - Vol. 23(1):2042. DOI:10.1186/s12889-023-16896-x.
7. Cui F.,Sun Y.,Duan Y., et al. Work-related musculoskeletal disorders among machinery manufacturing factory workers in Chinese factory/ Safety and Health at Work. - 2026. -Vol. 17(2). -P. 214-222. DOI 10.1016/j.shaw.2026.03.004.
8. Mokhtarinia H., et al. Investigating the relationship between physical, cognitive, and environmental factors of ergonomics with the prevalence of musculoskeletal disorders: A case study in a car-parts manufacturing industry // Work. −2024. -Vol. 79(1). -P. 215-229. DOI 10.3233/WOR-230155.
9. Lan Y., Zhan X., Wang Z., Jiang D., Li X., Peng C. Global prevalence and associated risk factors of work-related musculoskeletal disorders among steelworkers: a systematic review and meta-analysis // Frontiers in Public Health. - 2026. - Vol. 14: 1718101. DOI 10.3389/fpubh.2026.1718101.
10. Podlaha J., Melissa F., Lito M. Amit, Brady K. Whole-Body Vibration Exposure and Musculoskeletal Disorders of Heavy Equipment Operators in Construction//SHIFT and BCSP. - 2023. URL: https://bcspshift.com/shift-articles/whole-body-vibration-exposure-and-musculoskeletal-disorders-of-heavy-equipment-operators-in-construction. Қаралған күні: 03.06.2026.
11. Wan Harun W.N., Che Ghani S.A., Md Noh M.S. Evaluation of Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) among Manual Assembly Workers in the Medical Device Manufacturing Industry // Journal of Physics: Conference Series.
2025. -Vol. 2933:012023. DOI
10.1088/1742-6596/2933/1/012023.
12. Javanmardi S., et al. Work conditions and determinants of health status among industrial shift workers: a cross-sectional study // Front. Public Health. −2025. -Vol. 17:1489178. DOI 10.3389/fpubh.2024.1489178.
13. Chen S., et al. Effect of Chronic Exposure to Low-Frequency Noise on Musculoskeletal Pain, Psychological Distress, and Quality of Life in Employees. // Noise & Health. −2025. -Vol.27(127). -P. 526-533. DOI 10.4103/nah.nah_146_24.
14. Li M., et al. Co-exposure to heat and noise on workers' health: evidence from a large-scale cross-sectional surveillance study in China \// BMC Public Health. - 2025. -Vol. 25:3533. DOI 10.1186/s12889-025-24592-1.
15. Suokko T., et al. Productivity and employee well-being in manufacturing process development – Comparison study of two departments \// Applied Ergonomics. - 2025. -Vol. 125: 104460. DOI 10.1016/j.apergo.2024.104460.
16. Спирин В.Ф., Новикова Т.А., Комлева Н.Е., Мазилов С.И. Качество жизни работников с нарушением слуха, вызванным воздействием производственного шума металлообрабатывающего производства // Гигиена и санитария. - 2024. - Т. 103(6). - С. 559-563. DOI 10.47470/0016-9900-2024-103-6-559-563.

References

1. Kuz'mina L.P., Izmerova N.I., Hotuleva A.G., Cidilkovskaja Je.S., Kisljakova A.A., Mili H. Vlijanie fizicheskih proizvodstvennyh faktorov na immunnuju sistemu // Medicina truda i promyshlennaja jekologija. - 2023. -T.63(11). DOI 10/31089/1026-9428-2023-63-11-694-701. [in
Russian]
2. Hahad O., Kuntic M., Al-Kindi S., Kuntic I., Gilan D., Petrowski K., Daiber A., Münzel T. Noise and mental health: evidence, mechanisms, and consequences // Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology. - 2025. -Vol. 35. -P.16-23. DOI 10.1038/s41370-024-00642-5.
3. Hasanain B. The Role of Ergonomic and Human Factors in Sustainable Manufacturing: A Review//Machines. −2024. -Vol.12(3):159. DOI 10.3390/machines12030159.

4. Elshaer N., Meleis D., Mohamed A. Prevalence and correlates of occupational noise-induced hearing loss among workers in the steel industry/ Egyptian Public Health Association. - 2023. - Vol. 98(1):11. DOI 10.1186/s42506-023-00135-7.
5. Chen K.-T., Su S.-B. A review of occupational noise-induced hearing loss: focus on mechanisms and preventive measures // British Medical Bulletin. −2025. -Vol. 156(1). DOI 10.1093/bmb/ldaf020.
6. He X., Xiao B., Wu J., Chen C., Li W., Yan M. Prevalence of work-related musculoskeletal disorders among workers in the automobile manufacturing industry in China: a systematic review and meta-analysis \// BMC Public Health. - 2023. - Vol. 23(1):2042. DOI 10.1186/s12889-023-16896-x.
7. Cui F.,Sun Y.,Duan Y., et al. Work-related musculoskeletal disorders among machinery manufacturing factory workers in Chinese factory/ Safety and Health at Work. - 2026. -Vol. 17(2). -P. 214-222. DOI 10.1016/j.shaw.2026.03.004.
8. Mokhtarinia H., et al. Investigating the relationship between physical, cognitive, and environmental factors of ergonomics with the prevalence of musculoskeletal disorders: A case study in a car-parts manufacturing industry // Work. −2024. -Vol. 79(1). -P. 215-229. DOI 10.3233/WOR-230155.
9. Lan Y., Zhan X., Wang Z., Jiang D., Li X., Peng C. Global prevalence and associated risk factors of work-related musculoskeletal disorders among steelworkers: a systematic review and meta-analysis // Frontiers in Public Health. - 2026. - Vol. 14: 1718101. DOI 10.3389/fpubh.2026.1718101.
10. Podlaha J., Melissa F., Lito M. Amit, Brady K. Whole-Body Vibration Exposure and Musculoskeletal Disorders of Heavy Equipment Operators in Construction//SHIFT and BCSP. - 2023. URL: https://bcspshift.com/shift-articles/whole-body-vibration-exposure-and-musculoskeletal-disorders-of-heavy-equipment-operators-in-construction. Қаралған күні: 03.06.2026.
11. Wan Harun W.N., Che Ghani S.A., Md Noh M.S. Evaluation of Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) among Manual Assembly Workers in the Medical Device Manufacturing Industry // Journal of Physics: Conference Series.
2025. -Vol. 2933:012023. DOI
10.1088/1742-6596/2933/1/012023.
12. Javanmardi S., et al. Work conditions and determinants of health status among industrial shift workers: a cross-sectional study // Front. Public Health. −2025. -Vol. 17:1489178. DOI 10.3389/fpubh.2024.1489178.
13. Chen S., et al. Effect of Chronic Exposure to Low-Frequency Noise on Musculoskeletal Pain, Psychological Distress, and Quality of Life in Employees. // Noise & Health. −2025. -Vol.27(127). -P. 526-533. DOI https://doi.org/10.4103/nah.nah_146_24.
14. Li M., et al. Co-exposure to heat and noise on workers' health: evidence from a large-scale cross-sectional surveillance study in China \// BMC Public Health. - 2025. -Vol. 25:3533. DOI 10.1186/s12889-025-24592-1.
15. Suokko T., et al. Productivity and employee well-being in manufacturing process development – Comparison study of two departments \// Applied Ergonomics. - 2025. -Vol. 125: 104460. DOI 10.1016/j.apergo.2024.104460.
16. Spirin V.F., Novikova T.A., Komleva N.E., Mazilov S.I. Kachestvo zhizni rabotnikov s narusheniem sluha, vyzvannym vozdejstviem proizvodstvennogo shuma metalloobrabatyvajushhego proizvodstva // Gigiena i sanitarija. - 2024. - T. 103(6). - S. 559-563. DOI 10.47470/0016-9900-2024-103-6-559-563.

Авторлар туралы мәлімет

Актаева Л. М. - медицина ғылымдарының докторы, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан, e-mail:rniiot@rniiot.kz;

Бекмагамбетов А. Б. - заң ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан, e-mail:adilet1979@mail.ru;

Едильбаева Л. И. - медицина ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан, e-mail:laura.ibragimovna@gmail.com;

Ташенов А. Ш. - жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан, e-mail:wl_t@mail.ru;

Сагиндикова Н. Т. - техника және технология ғылымдарының магистрі, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан, e-mail:nursag79@mail.ru.

Information about the authors

Aktayeva L. M. - Doctor of Medical Sciences, Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: rniiot@rniiot.kz;

Bekmagambetov A. B. - Candidate of Legal Sciences, Associate Professor, Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: adilet1979@mail.ru;

Yedilbayeva L. I. - Candidate of Medicine, Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: laura.ibragimovna@gmail.com;

Tashenov A. Sh. - Master of Natural Sciences, Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: wl_t@mail.ru;

Sagindikova N. T. - Master of Technical and Technological Sciences, Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: nursag79@mail.ru.

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-24

JUSTIFICATION OF THE INTEGRATED SUPPORT SCHEME FOR THE PORTAL OF AN INCLINED RAMP UNDER A COMBINED OPEN-PIT MINING SYSTEM

R.A. Mussin[1], Zh.T. Dauletzhanova[2]✉, N.M. Zamaliyev[1], N.E. Issina[1]

[1] *Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*
[2] *K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan*
✉ *Corresponding author: kaliyeva_zhanna@mail.ru*

The article addresses the issues of improving the stability of the portal and the initial section of an inclined ramp constructed during the transition of an open pit to a combined mining system. It is in this zone that the effects of rock mass unloading, roof and sidewall instability, water inflow, as well as additional dynamic impacts caused by drilling-and-blasting operations and the movement of mine transport occur simultaneously. The aim of the study was to substantiate an integrated support scheme that ensures the early formation of a load-bearing rock mass contour, reduces deformations in the near-contour zone, and preserves technological compatibility with both drilling-and-blasting and mechanized excavation methods. The study was carried out on the basis of field observations, laboratory testing of concrete and injection materials, instrumental monitoring of deformations, and numerical modeling in the FLAC3D software environment. The proposed scheme includes the sequential application of a primary shotcrete layer, installation of advance inclined rock bolts along the excavation direction, arrangement of a staggered grid of injection anchors, concreting of a section at least 20 m long, and primary and control grouting after the concrete reaches 75% of its design strength. It was established that the application of this scheme ensures a 2.3-fold reduction in water inflow, a 1.8-fold decrease in roof deformations compared with the control section, and a reduction in the maximum calculated displacements from 42 to 12 mm when rock bolting and injection reinforcement are used jointly. The obtained results confirm the feasibility of applying a combined support system in unstable host rocks and make it possible to recommend it for practical implementation in the construction of inclined ramp portals.

Keywords: inclined ramp, portal, combined mining system, advance rock bolting, shotcrete, injection anchors, excavation stability, numerical modeling.

КАРЬЕРДІ ҚҰРАМДАСТЫРЫЛҒАН ИГЕРУ ЖҮЙЕСІ ЖАҒДАЙЫНДА КӨЛБЕУ СЪЕЗД ПОРТАЛЫН БЕКІТУДІҢ КЕШЕНДІ СҰЛБАСЫН НЕГІЗДЕУ

Р.А. Мусин[1], Ж.Т. Даулетжанова[2]✉, Н.М. Замалиев[1], Н.Е. Исина[1]

[1] *Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан*
[2] *Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан*
✉ *e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru*

Мақалада карьердің құрамдастырылған игеру жүйесіне көшуі кезінде салынатын көлбеу съездің порталы мен бастапқы учаскесінің орнықтылығын арттыру мәселелері қарастырылған. Дәл осы аймақта массивтің босауының әсері, төбе мен борттардың орнықсыздығы, сулану, сондай-ақ бұрғылап-жару жұмыстары мен технологиялық көліктің қозғалысына байланысты қосымша динамикалық әсерлер бір мезгілде байқалады. Зерттеудің мақсаты массивтің көтергіш контурын ерте қалыптастыруды, контур маңы аймағындағы деформацияларды азайтуды және бұрғылап-жару, сондай-ақ механикаландырылған өту жұмыстарымен технологиялық үйлесімділікті сақтауды қамтамасыз ететін кешенді бекіту сұлбасын негіздеу болды. Зерттеу далалық бақылаулар, бетон мен инъекциялық құрамдарды зертханалық сынау, деформацияларды аспаптық бақылау және FLAC3D бағдарламалық ортасында сандық модельдеу негізінде орындалды. Ұсынылған сұлбаға алғашқы набрызг-бетон қабатын кезең-кезеңімен жағу, қазба бойымен алға оздырылған көлбеу анкерлерді орнату, инъекциялық анкерлердің шахматтық торын монтаждау, ұзындығы кемінде 20 м учаскені бетондау және бетон жобалық беріктігінің 75 %-ына жеткеннен кейін бастапқы және бақылау нагнетаниесін жүргізу кіреді. Аталған сұлбаны қолдану су ағынын 2,3 есе азайтуды, бақылау учаскесімен салыстырғанда төбе деформацияларын 1,8 есе төмендетуді және анкерлеу мен инъекциялық бекітуді бірлесіп қолданған кезде есептік ең үлкен орын ауыстыруларды 42-ден 12 мм-ге дейін қысқартуды қамтамасыз

ететіні анықталды. Алынған нәтижелер орнықсыз жанасушы жыныстарда бекітудің құрамдастырылған жүйесін қолданудың орындылығын растайды және оны көлбеу съезд порталдарын салу кезінде тәжірибеде енгізуге ұсынуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: көлбеу съезд, портал, құрамдастырылған игеру жүйесі, оздырылған анкерлеу, набрызг-бетон, инъекциялық анкерлер, қазбалардың орнықтылығы, сандық модельдеу.

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СХЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ПОРТАЛА НАКЛОННОГО СЪЕЗДА ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРА

Р.А. Мусин[1], Ж.Т. Даулетжанова[2]✉, Н.М. Замалиев[1], Н.Е. Исина[1]

[1] Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан
[2] Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова Астана, Казахстан
✉ *e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru*

В статье рассмотрены вопросы повышения устойчивости портала и начального участка наклонного съезда, сооружаемого при переходе карьера к комбинированной системе разработки. Именно в этой зоне одновременно проявляются влияние разгрузки массива, неустойчивость кровли и бортов, обводнение, а также дополнительные динамические воздействия, обусловленные буровзрывными работами и движением технологического транспорта. Цель исследования заключалась в обосновании комплексной схемы крепления, обеспечивающей раннее формирование несущего контура массива, снижение деформаций приконтурной зоны и сохранение технологической совместимости как с буровзрывной, так и с механизированной проходкой. Исследование выполнено на основе полевых наблюдений, лабораторных испытаний бетона и инъекционных составов, инструментального контроля деформаций и численного моделирования в программной среде FLAC3D. Предлагаемая схема включает последовательное нанесение первичного слоя набрызг-бетона, установку опережающих наклонных анкеров по ходу выработки, монтаж шахматной сетки инъекционных анкеров, бетонирование участка длиной не менее 20 м и проведение первичного и контрольного нагнетания после достижения бетоном 75 % проектной прочности. Установлено, что применение данной схемы обеспечивает снижение водопритока в 2,3 раза, уменьшение деформаций кровли в 1,8 раза по сравнению с контрольным участком и сокращение максимальных расчетных смещений с 42 до 12 мм при совместном использовании анкеровки и инъекционного укрепления. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения комбинированной системы крепления в неустойчивых вмещающих породах и позволяют рекомендовать ее для практического внедрения при сооружении порталов наклонных съездов.

Ключевые слова: наклонный съезд, портал, комбинированная система разработки, опережающая анкеровка, набрызг-бетон, инъекционные анкеры, устойчивость выработок, численное моделирование.

Introduction. The transition from open-pit mining to a combined deposit development system requires particular attention to the condition of the inclined ramp portal. In this zone, the most unfavorable factors are concentrated over a short distance: changes in the stress state of the rock mass due to excavation, the presence of fractured and weakened zones, the impact of atmospheric and groundwater, as well as variable loads from excavation equipment and transport vehicles. Under insufficient support stiffness, the portal becomes a high-risk area where roof collapses, sidewall failures, and floor destruction are most likely [1].

Analysis of existing solutions shows that traditional massive lining systems (segmental or tubbing linings) provide high reliability; however, they are characterized by high cost, labor-intensive installation, and limited adaptability to the rectangular cross-section of ramps [2]. Systems based on early shotcrete application and rock bolting are more flexible and widely used in tunneling and underground excavation practice, [3, 4], but under conditions of high fracturing and water inflow, they do not always prevent local failures without advance face reinforcement.

Modern concepts emphasize the importance of early stabilization of the near-contour zone and the formation of a load-bearing rock-support system [5, 6]. For excavations in unstable rocks, the effectiveness of combined support systems—integrating rock bolting, shotcrete, and injection strengthening—has been substantiated [7, 8]. However, the issue of technological coordination of all support elements specifically for inclined ramp portals in the transition zone from open-pit to underground mining remains insufficiently studied [9, 10].

The research object is the portal and the initial section of a rectangular inclined ramp constructed in

alternating sandstones, siltstones, and argillites with varying degrees of weathering, fracturing, and water saturation. The subject of the study is the stability evolution of the near-contour zone under sequential application of shotcrete, advance rock bolting, injection reinforcement, and monolithic concreting.

The aim of the study is to substantiate a comprehensive support scheme for the inclined ramp portal under a combined mining system. The hypothesis is that a staged combination of inclined advance bolts, a staggered injection bolting system, and controlled concreting over a length of at least 20 m reduces deformation, improves rock mass stability, and ensures technological reliability of the portal.

The scientific novelty of the study lies not in the isolated use of shotcrete, rock bolts, grouting, or monolithic concrete, which are established support measures, but in their engineering integration into a staged support sequence specifically for the transition zone of an inclined ramp portal. The proposed sequence links advance inclined bolting, a staggered injection-bolt grid, and subsequent concreting to a measurable technological criterion—achievement of at least 75% of the design concrete strength before control grouting. In contrast to conventional solutions in which individual support elements are designed and installed largely independently, the proposed approach coordinates the time of support engagement with the development of near-contour deformation and water inflow while preserving the rectangular ramp geometry and compatibility with drill-and-blast excavation. The study therefore evaluates the combined effect of the support sequence rather than presenting any of its individual elements as a new support technology.

Materials and Methods. The study was conducted for the portal and the initial 20 m section of the inclined ramp. The geological environment consists of interbedded sandstones, siltstones, and argillites. The near-contour zone contains one to three fracture sets, often subparallel to bedding, as well as local softened and water-bearing zones [5, 6].

The methodology included field, laboratory, instrumental, and numerical investigations.

The experimental program was organized as a comparative engineering assessment of the control and reinforced portal sections. Field observations, laboratory strength testing, instrumental deformation monitoring, and numerical calculations were treated as mutually independent evidence streams. Because the available field dataset contains aggregated monitoring values rather than a complete set of raw replicate measurements for every observation point, the article does not infer sample sizes, standard deviations, or confidence intervals that cannot be reconstructed from the source records. Statistical interpretation is therefore limited to the reported comparative indicators, model–field deviation, coefficient of determination, and sensitivity analysis; this limitation is explicitly considered when interpreting the results.

Field observations recorded fracturing intensity, water inflow, and deformation behavior of the roof and sidewalls. Ground-penetrating radar (GPR) “OKO-3” (400 MHz antenna) was used to identify weakened and water-saturated zones. Deformations were monitored using strain gauges and inclinometers with an accuracy of $\pm 10^{-5}$. Seismoacoustic monitoring (RIPAS system) was applied to assess stress redistribution.

Laboratory tests determined the strength characteristics of shotcrete and injection materials. Specimens (150×150×150 mm) were tested according to GOST 10180-2012 using a hydraulic press (capacity 2000 kN). Strength gain was described by the exponential relationship:

$$\sigma(t) = \sigma 28\left(1 - e^{-kt}\right)$$

A critical threshold of 75% design strength was adopted as the criterion for safe transition to control grouting. [3, 4].

The engineering support scheme consisted of several sequential operations. Immediately after excavation of the contour, a primary layer of shotcrete with a thickness of 5–7 cm was applied. Subsequently, advance inclined rock bolts with a length of 3.0–3.5 m were installed along the excavation at an angle of 10–15° to the ramp axis, with a spacing of 1.2–1.5 m. This was followed by the installation of a staggered grid of injection bolts with a spacing of 1.5 × 1.5 m and an injection pressure of 0.3–0.5 MPa. The next stage involved concreting of the roof, sidewalls, and floor over a section with a length of at least 20 m. After the concrete reached 75% of its design strength, primary and control grouting were performed to further consolidate the near-contour zone and reduce the filtration permeability of the rock mass [9, 10].

For validation of the proposed scheme, numerical modeling was carried out using the FLAC3D 7.0 software package. The computational model represented a 30 m long section with a cross-section of 5 × 5 m. The mesh contained approximately 70,000 finite elements with refinement in the portal area. The base was assumed to be rigidly fixed, elastic boundary conditions were applied at the lateral boundaries, and the external load corresponded to the weight of the overlying rock mass. The following parameters were

adopted: for sandstones, uniaxial compressive strength σc = 55 MPa and elastic modulus E = 25 GPa; for siltstones, σc = 28 MPa and E = 12 GPa; for argillites, σc = 18 MPa and E = 8 GPa. Three scenarios were considered: without reinforcement, with advance rock bolting, and with combined application of bolting and injection. Additionally, the Q-system was used for engineering characterization of rock-mass quality. Model verification was performed by comparing calculated roof displacements with instrumental observations for the same support scenarios. Calibration was carried out by checking whether the adopted deformation parameters reproduced the measured displacement range without changing the geological structure of the model. Model adequacy was assessed using relative model–field deviation and the coefficient of determination (R^2), while parameter uncertainty was examined through a sensitivity analysis in which the rock deformation modulus was varied by ±20%. Inferential significance levels were not reported because the archived monitoring dataset does not provide a uniform number of independent raw replicates for all compared points.

Results and Discussion. Field and laboratory studies showed that the primary shotcrete layer achieved, on average, 72% of the design strength after 3 days and exceeded 75% after 5 days, which is sufficient to proceed to control grouting and further development of the support scheme. Monolithic concrete reached a similar threshold after 9 days. This curing regime proved to be critically important, as it allowed maintaining the construction schedule while preventing injection effects on an insufficiently hardened support contour [3, 4]. The strength development of shotcrete and monolithic concrete is presented in Figure 1.

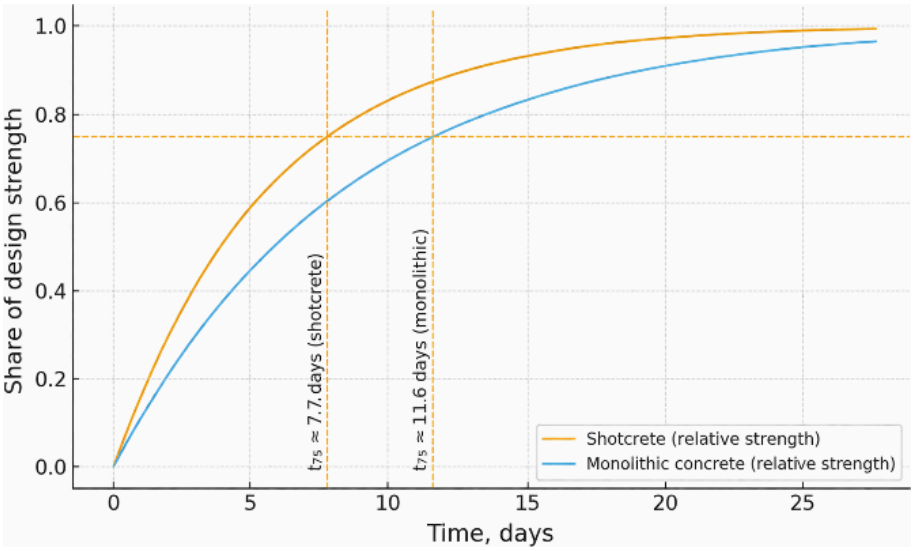


Fig. 1 - Strength development and the allowable grouting point at 75% of design strength

Instrumental observations in the portal zone showed that the use of advance inclined rock bolts leads to a significant reduction in roof deformations already at the early stage of excavation. Compared to the control section, displacements decreased by a factor of 1.8. After incorporating a staggered grid of injection bolts into the support scheme, not only a further reduction in deformations was observed, but also a 2.3-fold decrease in water inflow, indicating partial closure of fractures and a reduction in the filtration permeability of the near-contour zone [10].

The results of numerical modeling confirmed the trends identified under field conditions. In the absence of reinforcement, maximum roof displacements reached 42 mm, indicating a highly unfavorable state of the rock mass for the portal section. The scenario with only advance rock bolting reduced this value to 25 mm, whereas the combined application of bolting and injection strengthening decreased it to 12 mm. Thus, the calculated reduction in deformation relative to the unsupported state was approximately 3.5 times. The stress distribution pattern in the model indicated load redistribution and the formation of a more stable load-bearing framework around the excavation contour. The zone of plastic deformation was reduced, and stress concentrations shifted into the reinforced region, where they were absorbed by the bolting system and the strengthened rock mass [5, 6, 10].

Comparative scenarios of roof deformation based on modeling results are presented in Figure 2.

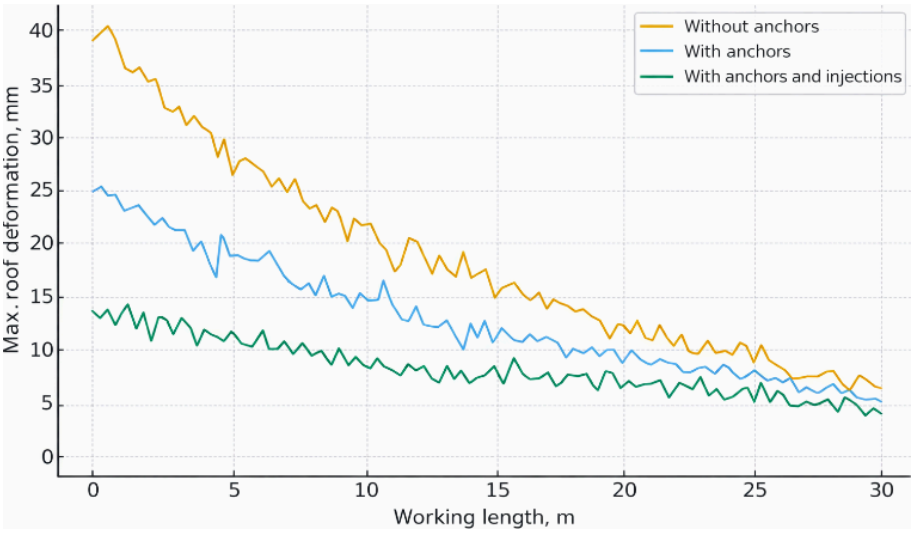


Fig. 2 - Roof deformation scenarios based on FLAC3D modeling results

Comparison of numerical modeling results with field observations showed that the calculated deformation trend reproduced the measured response for the considered support scenarios. The relative discrepancy between calculated and measured roof displacements did not exceed 15%, and the coefficient of determination for the calculation–measurement relationship was $R^2 \geq 0.90$. These indicators are used here as engineering validation metrics rather than as a substitute for inferential statistics. The agreement is considered sufficient for comparative assessment of the three support scenarios within the investigated portal section, while extrapolation beyond the studied geological conditions should be made with caution.

The uncertainty analysis focused on the deformation modulus because this parameter strongly controls calculated convergence and is sensitive to rock-mass heterogeneity. A ±20% variation in the adopted deformation modulus changed calculated displacements by approximately 12–15%, while the ranking of the three support scenarios and the overall stress–deformation pattern remained unchanged. Thus, the principal engineering conclusion—the lower deformation obtained for the combined bolting-and-injection scenario—was robust within the tested parameter interval. The analysis does not eliminate uncertainty associated with local fractures, moisture variation, or construction quality; these factors remain a limitation of the model and require field monitoring during implementation.

The comparison of calculated and field data is presented in Figure 3.

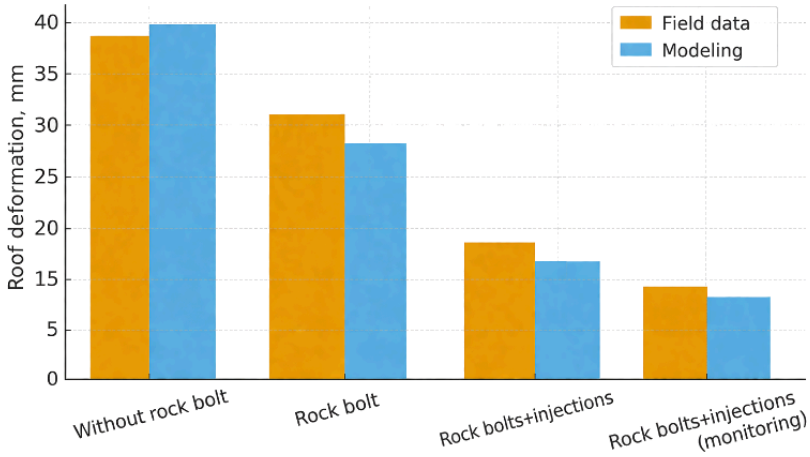


Fig. 3 - Comparison of modeling results and field observations

The obtained results are consistent with current concepts of active and combined support, according to which early stabilization of the near-contour rock mass and coordinated interaction of rock bolts and shotcrete can reduce the extent of yielding and deformation. The distinction of the present study is the adaptation of this principle to an inclined-ramp portal at the open-pit-to-underground transition and the explicit sequencing of

support operations under fractured and water-bearing conditions. The proposed scheme does not claim a new type of bolt, shotcrete, or grouting material. Its contribution is the experimentally and numerically evaluated technological sequence: primary shotcrete → advance inclined bolts → staggered injection bolts → monolithic concreting → control grouting after the 75% strength criterion is reached. This sequence reduced the calculated maximum roof displacement from 42 mm in the unsupported model to 25 mm with advance bolting and to 12 mm with combined bolting and injection, while field observations showed a 2.3-fold reduction in water inflow. These quantitative indicators define the engineering effect of integration and distinguish the proposed procedure from the isolated application of conventional support elements.

In practical terms, this means that within the first 10–15 m from the portal, where maximum displacements are observed, it is advisable to apply an increased density of rock bolting and ensure more rigorous control of injection filling. In zones of increased fracturing and water inflow, ground-penetrating radar diagnostics and exploratory drilling should be carried out prior to excavation [8, 10]. A limitation of the study is that the numerical model covered a 30 m section and used averaged rock parameters. In real conditions, local zones of fragmentation, variations in moisture content, and curing temperature regimes may affect the final strengthening effect; therefore, continuous instrumental monitoring is required during implementation of the technology.

The main limitations of the study are the single investigated portal, the 30 m numerical domain, the use of averaged mechanical properties for lithological units, and incomplete availability of raw replicate monitoring records. Accordingly, the results should be interpreted as a validated engineering case study rather than as a universal statistical law. Further verification should include additional portal sites, documented replicate measurements at fixed monitoring stations, reporting of sample size and dispersion for laboratory and field data, and calibration against three-dimensional fracture geometry and groundwater conditions.

Table 1 - Key quantitative results of the evaluation of the support scheme effectiveness

Parameter	Condition/Scenario	Value	Engineering Interpretation
Shotcrete strength development	After 3 days	72% of design strength	The contour gains early stiffness but still requires curing before control grouting
Shotcrete strength development	After 5 days	>75% of design strength	Transition to control grouting is permissible
Monolithic concrete strength development	After 9 days	75% of design strength	The section is ready for further technological operations
Water inflow	After installation of injection grid	Reduction by 2.3 times	Filtration permeability decreases and risk of rock softening is reduced
Maximum roof deformation	Without reinforcement	42 mm	The near-contour zone does not meet required stability conditions
Maximum roof deformation	Advance bolting only	25 mm	Bolting stabilizes the contour but does not eliminate the influence of water and fracturing
Maximum roof deformation	Bolting + injection reinforcement	12 mm	The most stable load-bearing contour is formed
Model–field agreement	Calculation vs. field data	Deviation ≤15%; $R^2 \geq 0.9$	The modeling approach is suitable for engineering evaluation of support options

The data presented in Table 1 confirm that the greatest effect is achieved not through the isolated application of individual support measures, but through their sequential combination within a unified technological cycle.

Conclusion. The conducted study demonstrated that the most complex and unstable section of an inclined ramp is its portal and initial segment, where stress relief, increased rock fracturing, water inflow, and dynamic loads occur simultaneously. Under such conditions, the use of a single type of support is generally insufficient

to ensure the required reliability and long-term stability of the excavation.

It has been established that a comprehensive support scheme, including primary shotcrete, advance rock bolting, injection strengthening, and subsequent concreting, makes it possible to form a more stable load-bearing contour around the excavation and reduce the risk of local deformation development. Achieving 75% of the design concrete strength can be considered a justified technological criterion for performing control grouting and transitioning to the next stage of rock mass stabilization.

The practical significance of the study lies in the fact that the proposed approach can be applied in the construction of inclined ramps in unstable rock masses without abandoning drill-and-blast technology, ensuring increased excavation stability, reduced probability of deformation-related failures, and an overall improvement in the safety of tunneling operations.

The scientific contribution is the substantiation of a staged support algorithm in which the timing and interaction of conventional support elements are coordinated with measured deformation, water inflow, and concrete strength development. Within the investigated portal, this integrated sequence produced a stable reduction in calculated deformation and acceptable agreement between numerical and field observations, providing a reproducible basis for selecting support stages under comparable fractured and water-bearing rock-mass conditions.

Funding. *This research was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under program-targeted funding for the implementation of the scientific and technical program IRN BR24992803.*

References

1. Terron-Almenara J., Holter K.G., Høien A.H. A Hybrid Methodology of Rock Support Design for Poor Ground Conditions in Hard Rock Tunnelling// Rock Mechanics and Rock Engineering. −2023.- Vol«.
2. P«. 4061–4088. DOI 10.1007/s00603-023-03273-8.
3. Fan et al. Numerical Simulation Research and Application of Support Design of Broken Rock Mass in Submarine Gold Mine// Advances in Civil Engineering. - 2023:1629681. DOI 10.1155/2023/1629681.
4. Sjölander A., Ansell A. Failure Mechanisms of Fibre Reinforced Shotcrete: Numerical Simulations Considering Local Variations in Thickness and Bond Strength//Nordic Concrete Research. −2022. -Vol. 67(2). DOI 10.2478/ncr-2022-0016.
5. Tohid Asheghi Mehmandari et al. Experimental and numerical analysis of tunnel primary support using recycled and hybrid fiber reinforced shotcrete//Structures. −2024.- Vol. 63:106282. DOI 10.1016/j.istruc.2024.106282.
6. Chen Ying et al. Effect of Design Parameters of Supporting Structure on the Energy Evolution Characteristic of Surrounding Rock//Applied Sciences. - 2024. -Vol. 14(23):11028. DOI 10.3390/app142311028. 6.Quanwei Liu, Yongshun Li, et al. Primary support optimization of large-span and shallow buried hard rock tunnels based on the active support concept//Scientific Reports. −2022.-Vol.12:7918. DOI 10.1038/s41598-022-11399-y.
7. Mingjing Jiang et al. Study on the reinforcement mechanism of grouted bolts with or without prestress via the hybrid DEM-FDM method//Transportation Geotechnics. - 2023.- Vol.40:100967. DOI 10.1016/j.trgeo.2023.100967.
8. Wang Q.R. et al. Model tests on dynamic responses of surrounding rock and support structure on underground tunnel under combined dynamic and static loading//International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2023.- Vol.171:105572. DOI 10.1016/j.ijrmms.2023.105572.
9. Mussin R., Portnov V., Golik A., Zamaliyev N., Akhmatnurov D., Ganyukov N., Skrzypkowski K., Zagórski K., Efremova S. Assessment of Strength Characteristics and Structural Heterogeneity of Coal Seams in the Karaganda Basin by Geophysical Methods for Enhancing Mining Safety// Mining. - 2026.- Vol. 6(1): 21. DOI 10.3390/mining6010021.
10. Akhmatnurov D., Zamaliyev N., Mussin R., Demin V., Ganyukov N., Zagórski K., Skrzypkowski K., Korzeniowski W., Stasica J. Optimization of Reinforcement Schemes for Stabilizing the Working Floor in Coal Mines Based on an Assessment of Its Deformation State// Materials. −2025. Vol. 18(13): 3094. DOI 10.3390/ma18133094.

Information about the authors

Mussin R. A.- PhD, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, e-mail: R.A.Mussin@mail.ru;

Dauletzhanova Zh. T.- PhD, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh Technological and Business University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Zamaliyev N. M.- PhD, Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nailzamaliev@mail.ru;

Issina N. Ye.-Master's student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University,Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nazym.issina@gmail.com.

Сведения об авторах

Мусин Р. А. – PhD, доцент Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, e-mail: R.A.Mussin@mail.ru,

Даулетжанова Ж.Т.- PhD, доцент, Казахский университет технологии и бизнеса им, К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Замалиев Н.М.- PhD доцент,Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: nailzamaliev@mail.ru;

Исина Н. Е.- магистрант, Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан e-mail: nazym.issina@gmail.com.

https://doi.org/10.58805/mogs.V.1(32)-15

INTERNATIONAL APPROACHES TO OCCUPATIONAL RISK MANAGEMENT AND OCCUPATIONAL HEALTH PROTECTION IN THE MINING INDUSTRY

A.B. Bekmagambetov[1], **A.M. Rakhmetova**[1]✉, **E.A. Kulmagambetova**[1], **G.K. Alshynbekova**[1], **I.E. Sarybayeva**[1], **A.Y. Yerkinbekova**[1], **R. Marcelloni**[2]

[1] *RSE at the National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*

[2] *National Institute for Insurance against Accidents at Work, Rome, Italy*

✉ *Corresponding author: rakhmetovaanar68@gmail.com*

The mining industry is characterized by a high level of occupational risks associated with the combined effects of physical, chemical, ergonomic, and psychosocial workplace factors. This determines the relevance of analyzing international approaches to occupational risk management and the protection of workers' health.

Objective - to conduct an analytical review of international regulatory documents and scientific studies on occupational risk management and occupational health protection in the mining industry, compare current approaches to risk assessment and occupational health surveillance, and assess the applicability of these approaches in the Republic of Kazakhstan.

The study was conducted as an analytical review. The information base included regulatory and methodological documents of the International Labour Organization, World Health Organization, International Organization for Standardization, and International Commission on Occupational Health, as well as scientific publications indexed in the Scopus, Web of Science, PubMed, and ScienceDirect databases. Comparative analysis, systematization, and analytical synthesis of scientific evidence were applied.

The analysis of international documents demonstrated the formation of a complementary, multilevel framework for occupational risk management. Documents of the International Labour Organization establish the regulatory basis for occupational safety, the International Organization for Standardization 45001 standard defines principles of risk-based management, while international recommendations in occupational health and medicine provide a basis for the prevention of occupational diseases and occupational health surveillance. Scientific evidence highlights the importance of considering the combined effects of dust, noise, vibration, and other workplace hazards in the mining industry.

The application of international approaches in the Republic of Kazakhstan should focus on developing risk-based occupational risk assessment systems, strengthening occupational health services, and improving preventive health surveillance. Comprehensive epidemiological studies are needed to evaluate the effectiveness of international approaches under the conditions of Kazakhstan.

Keywords: international standards, occupational safety, occupational health, occupational risks, mining industry, health surveillance, prevention of occupational diseases.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ И ОХРАНЕ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.Б. Бекмагамбетов, **А.М. Рахметова**✉, **Э.А. Кульмагамбетова**, **Г.К. Алшынбекова**, **И.Е. Сарыбаева**, **А.Е. Еркінбекова**, **Р. Марчеллони**

[1] *РГП на ПХВ Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан*

[2] *Национальный институт страхования от несчастных случаев на производстве Италии, Рим, Италия*

✉ *e-mail: rakhmetovaanar68@gmail.com*

Горнодобывающая промышленность относится к отраслям с высоким уровнем профессиональных рисков, обусловленных сочетанным воздействием физических, химических, эргономических и психосоциальных факторов производственной среды. Это определяет актуальность анализа международных подходов к управлению профессиональными рисками и охране здоровья работников.

Цель исследования - провести аналитический обзор международных нормативных документов и научных исследований в области управления профессиональными рисками и охраны профессионального здоровья работников горнодобывающей отрасли, сопоставить современные подходы к оценке рисков и медицинскому наблюдению, а также оценить возможности их применения в условиях Республики Казахстан.

Исследование выполнено в форме аналитического обзора. Информационную базу составили нормативные и методические документы Международной организации труда, Всемирной организации здравоохранения, Международной организации по стандартизации и Международной комиссии по гигиене труда, а также научные публикации, представленные в базах данных Scopus, Web of Science, PubMed и ScienceDirect. Использованы методы сравнительного анализа, систематизации и аналитического обобщения научных данных.

Анализ международных документов показал формирование взаимодополняющей многоуровневой системы управления профессиональными рисками. Документы Международной организации труда определяют нормативную основу обеспечения безопасности труда, стандарт Международной организации по стандартизации 45001 устанавливает принципы риск-ориентированного управления, а международные рекомендации в области здравоохранения и медицины труда формируют основу профилактики профессиональных заболеваний и медицинского наблюдения. Научные исследования свидетельствуют о необходимости учета сочетанного воздействия пыли, шума, вибрации и других производственных факторов в горнодобывающей отрасли.

Применение международных подходов в Республике Казахстан должно быть направлено на развитие риск-ориентированной системы оценки профессиональных рисков, совершенствование служб медицины труда и усиление профилактического медицинского наблюдения. Для оценки эффективности международных подходов в условиях Казахстана необходимы комплексные эпидемиологические исследования.

Ключевые слова: международные стандарты, охрана труда, медицина труда, профессиональные риски, горнодобывающая промышленность, медицинское наблюдение, профилактика профессиональных заболеваний.

ТАУ-КЕН ӨНЕРКӘСІБІНДЕ КӘСІПТІК ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАСҚАРУ ЖӘНЕ ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ДЕНСАУЛЫҒЫН ҚОРҒАУДЫҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ

А.Б. Бекмагамбетов, **А.М. Рахметова**[✉], **Э.А. Кульмагамбетова**, **Г.К. Алшынбекова**, **И.Е. Сарыбаева**, **А.Е. Еркінбекова**, **Р. Марчеллони**

[1] *Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан*
[2] *Ұлттық жазатайым оқиғалардан сақтандыру Италия институты, Рим, Италия*
✉ *e-mail: rakhmetovaanar68@gmail.com*

Тау-кен өнеркәсібі өндірістік ортаның физикалық, химиялық, эргономикалық және психоәлеуметтік факторларының бірлескен әсеріне байланысты кәсіби тәуекел деңгейі жоғары салалардың бірі болып табылады. Бұл жағдай кәсіби тәуекелдерді басқарудың және жұмыскерлердің кәсіби денсаулығын қорғаудың халықаралық тәсілдерін талдаудың өзектілігін айқындайды.

Зерттеудің мақсаты - тау-кен өнеркәсібі жұмыскерлерінің кәсіби тәуекелдерін басқару және кәсіби денсаулығын қорғау саласындағы халықаралық нормативтік құжаттар мен ғылыми зерттеулерге аналитикалық шолу жүргізу, тәуекелдерді бағалау мен медициналық бақылаудың заманауи тәсілдерін салыстыру және оларды Қазақстан Республикасының жағдайында қолдану мүмкіндіктерін бағалау.

Зерттеу аналитикалық шолу түрінде жүргізілді. Ақпараттық базаға Халықаралық еңбек ұйымының, Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының, Халықаралық стандарттау ұйымының және Халықаралық еңбек гигиенасы комиссиясының нормативтік және әдістемелік құжаттары, сондай-ақ Scopus, Web of Science, PubMed және ScienceDirect дерекқорларында жарияланған ғылыми еңбектер енгізілді. Зерттеуде салыстырмалы талдау, жүйелеу және ғылыми деректерді аналитикалық жинақтау әдістері қолданылды.

Халықаралық құжаттарды талдау кәсіби тәуекелдерді басқарудың өзара толықтыратын көпдеңгейлі жүйесі қалыптасқанын көрсетті. Халықаралық еңбек ұйымының құжаттары еңбек қауіпсіздігінің нормативтік негізін, Халықаралық стандарттау ұйымының 45001 стандарты тәуекелге бағдарланған басқару қағидаттарын, ал халықаралық денсаулық сақтау және еңбек медицинасы жөніндегі ұсынымдар кәсіби

аурулардың профилактикасы мен медициналық бақылаудың негіздерін айқындайды. Ғылыми зерттеулер тау-кен өндірісіндегі шаң, шу, діріл және басқа да өндірістік факторлардың жиынтық әсерін ескерудің маңыздылығын көрсетеді.

Қазақстан Республикасында халықаралық тәсілдерді қолдану кәсіби тәуекелдерді бағалаудың тәуекелге бағдарланған жүйесін дамытуға, еңбек медицинасы қызметтерін жетілдіруге және профилактикалық медициналық бақылауды күшейтуге бағытталуы тиіс. Қазақстан жағдайындағы халықаралық тәсілдердің тиімділігін бағалау үшін кешенді эпидемиологиялық зерттеулер жүргізу қажет.

Түйін сөздер: халықаралық стандарттар, еңбек қауіпсіздігі, еңбек медицинасы, кәсіби тәуекелдер, тау-кен өнеркәсібі, медициналық бақылау, кәсіптік аурулар профилактикасы.

Introduction. The mining industry is one of the economic sectors characterized by a high level of occupational risk due to the simultaneous exposure of workers to multiple hazardous and harmful workplace factors. Workplaces may involve concurrent exposure to industrial dust, noise, vibration, chemical substances, high or low temperatures, physical workloads, as well as technological accidents and hazardous production processes. The individual or combined effects of these factors may result in occupational injuries, the development of occupational diseases, and long-term adverse health outcomes [1-3]. Current research indicates that the health status of mine workers cannot be adequately explained by exposure to a single factor alone. For example, a comprehensive analysis of occupational risk factors in the mining industry examined the interrelationships among physical, chemical, ergonomic, and psychosocial exposures [3].

The specific characteristics of mining operations require occupational risk management to extend beyond monitoring the permissible levels of individual hazardous factors. The current approach includes systematic hazard identification, risk assessment, elimination or control of hazards at the source, selection of preventive measures, and continuous evaluation of their effectiveness. The International Labour Organization's Safety and Health in Mines Convention, 1995 (No. 176), establishes requirements based on employers' assessment of risks and the prioritization of measures aimed at eliminating or minimizing them. The Convention also provides for regular health surveillance of workers exposed to occupational hazards [4]. The International Labour Organization's 2018 code of practice on safety and health in opencast mines further develops these principles by addressing risk assessment, the safety of production processes, and the use of new technologies [5-6].

Occupational safety and health management system standards also play an important role in the international occupational risk management framework. ISO 45001:2018 establishes requirements and guidance for organizations to develop an occupational health and safety management system, eliminate hazards, and reduce occupational risks. Its key principles include the management of risks and opportunities, leadership commitment, worker participation, and continual improvement of the management system [7]. At the same time, the existence of the standard itself does not necessarily imply a reduction in occupational injuries or occupational disease incidence; its practical effectiveness depends on the quality of implementation, the organization's safety culture, and specific workplace conditions.

An important component of occupational health protection, alongside the control of workplace exposures, is the systematic medical surveillance of workers' health. International Labour Organization instruments concerning occupational health services focus on the prevention of occupational hazards, health surveillance in relation to working conditions, and the organization of preventive measures [8]. Medical surveillance enables the early detection of health changes associated with occupational exposures; however, its effectiveness is greater when it is implemented together with engineering and organizational measures aimed at reducing hazards at their source.

Research in the mining industry indicates that exposure to industrial dust, particularly mineral and respirable dust, poses a significant risk to occupational health. Review studies on exposure to mineral dust have examined its association with respiratory diseases, including pneumoconiosis and other chronic pathologies [9]. At the same time, current scientific literature emphasizes the need to consider not only dust exposure but also noise, vibration, thermal stress, chemical factors, and psychosocial exposures when assessing occupational risks. A study analyzing 259 publications on factors affecting the health of mine workers demonstrated the diversity of chemical, physical, ergonomic, and psychosocial factors associated with occupational health outcomes [3].

Accordingly, international practice has increasingly approached occupational risk management as an

integrated system in which occupational safety, industrial hygiene, medical surveillance, and worker participation are interrelated. Such an approach makes it possible to consider not only individual hazards but also their combined effects, workers' actual exposure levels, and resulting health outcomes [9]. However, the requirements of international regulatory documents and findings from current scientific studies are not always considered as an integrated analytical framework in the context of the mining industry.

For the Republic of Kazakhstan, the importance of this issue is associated with the significant role of the mining industry in the national economy and the high level of hazards inherent in its production processes. Therefore, it is necessary not only to compare international regulatory requirements with the national occupational safety system but also to determine their practical applicability to occupational risk assessment, medical surveillance, and the organization of preventive measures at mining enterprises. In this context, it is important not to directly transfer international approaches to Kazakhstan but to assess their compatibility with the country's legal, industrial, and institutional conditions.

The scientific problem addressed in this study is associated with the fact that international occupational safety standards and current scientific studies on occupational risks in the mining industry have developed along different lines, while comprehensive analysis of their interrelationships and applicability under the conditions of the Republic of Kazakhstan remains limited.

The novelty of this study lies in the integrated analysis of international occupational safety standards, scientific evidence on occupational risks, and approaches to occupational health protection in the mining industry, with particular attention to their applicability to the conditions of the Republic of Kazakhstan.

The aim of this study is to conduct an analytical review of international regulatory documents and scientific studies on occupational risk management and occupational health protection among mining workers, compare current approaches to occupational risk assessment and medical surveillance, and evaluate their applicability in the mining industry of the Republic of Kazakhstan.

Materials and Methods. The study was conducted as an analytical review. The information base included official documents of the International Labour Organization (ILO), World Health Organization (WHO), International Organization for Standardization (ISO), International Commission on Occupational Health (ICOH), and the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, USA), as well as scientific publications indexed in the Scopus, Web of Science, PubMed, and ScienceDirect databases. The literature search covered the period from 2015 to 2026.

The search strategy used the following keywords and their combinations: occupational safety, occupational health, mining industry, mine safety, occupational risk, risk management, occupational health surveillance, medical screening, mining workers, occupational dust exposure, pneumoconiosis, silica exposure, noise-induced hearing loss, vibration-related disorders, as well as ISO 45001 and ILO Convention No. 176.

The review included peer-reviewed scientific publications addressing occupational safety, occupational risks, the effects of workplace factors on workers' health, prevention of occupational diseases, and medical surveillance in the mining industry. Publications that were not relevant to the research topic, duplicates, and sources whose bibliographic information could not be fully verified were excluded. Selected earlier publications were also included to describe fundamental scientific principles related to the development of occupational diseases in the mining industry.

The selection process consisted of screening titles and abstracts, followed by an assessment of the full texts for their relevance to the objectives of the study. The selected sources were systematically classified according to the authors, year of publication, study subject, methods used, and principal findings. International regulatory documents were compared with regard to requirements for occupational risk assessment, preventive measures, medical surveillance, and occupational safety and health management.

The findings were synthesized using qualitative analytical synthesis and comparative analysis. Since the study was not designed as a meta-analysis, no quantitative statistical pooling was performed. The results were analyzed across the following areas: international regulatory frameworks, exposure to industrial dust, noise and vibration, comprehensive occupational risk assessment, medical surveillance, and the applicability of international practices to the conditions of the Republic of Kazakhstan.

Results and Discussion. The analysis showed that the international system for regulating occupational safety and occupational health in the mining industry comprises several interconnected levels. Its

regulatory foundation is formed by the conventions and recommendations of the International Labour Organization (ILO), its management framework is provided by ISO 45001:2018, while the occupational health and medical prevention component is supported by recommendations of the World Health Organization (WHO) and the International Commission on Occupational Health (ICOH) [1-6].

The ILO Safety and Health in Mines Convention, 1995 (No. 176) is the principal international legal instrument for ensuring occupational safety in mining enterprises. The Convention provides for occupational risk assessment, implementation of preventive measures, worker training, provision of personal protective equipment, and health surveillance [1]. The Safety and Health in Mines Recommendation, 1995 (No. 183) complements the Convention by specifying practical approaches for implementing its provisions at the workplace level [2].

Safety issues in opencast mining are further addressed in the ILO *Safety and Health in Opencast Mines* code of practice. The document focuses on the safe use of mining equipment and transport, prevention of emergency situations, and control of exposure to workplace factors such as dust, noise, and vibration [3].

ISO 45001:2018 establishes the management level of the international regulatory framework. Its key feature is the integration of systematic hazard identification, occupational risk assessment, worker participation in management processes, management responsibility, and the principle of continual improvement of the occupational health and safety management system [4].

WHO and ICOH documents complement this framework with mechanisms for the medical protection of occupational health. Their recommendations address health surveillance, early detection of occupational diseases, assessment of workers' fitness for work, and rehabilitation [5, 6].

A comparative characterization of the main international documents is presented in Table 1.

Table 1 - Comparative characteristics of international documents in the field of occupational safety and occupational health in the mining industry

Document	Year	Main purpose	Key requirements	Significance for the mining industry
ILO Safety and Health in Mines Convention, 1995 (No. 176)	1995	Establish mandatory international requirements	Occupational risk management, employer responsibilities, worker training, health surveillance	The principal international instrument for ensuring occupational safety
ILO Safety and Health in Mines Recommendation, 1995 (No. 183)	1995	Provide practical recommendations	Improvement of occupational safety management systems	Complements the provisions of Convention No. 176
ILO *Safety and Health in Opencast Mines*	2018	Provide guidance on safe opencast mining operations	Safety of work, equipment, and transport in open-pit mines	Supports the practical implementation of ILO requirements
ISO 45001:2018	2018	Establish an occupational health and safety management system	Risk-based management, leadership, worker participation, continual improvement	International standard for occupational safety and health management
ILO Occupational Health Services Convention, 1985 (No. 161)	1985	Establish occupational health services	Prevention of occupational diseases and injuries, monitoring of workers' health	Provides a framework for organizing occupational health services at enterprises
WHO/ICOH guidance	2022	Provide an ethical and scientific framework for occupational health	Fitness-for-work criteria, medical examinations, rehabilitation	Provides a scientific basis for organizing medical screening

The comparison presented in Table 1 showed that the functions of the international documents are complementary and clearly differentiated. While the ILO instruments establish the legal and sector-specific framework for occupational safety, ISO 45001:2018 provides a structured model for managing occupational risks at the organizational level. WHO and ICOH recommendations complement this framework by addressing the protection of workers' health through medical surveillance and preventive measures. Thus, a key feature of the international approach is the integration of legal regulation, occupational risk management, and medical surveillance of occupational health into a unified system rather than focusing solely on the control of individual hazards [5-12].

The analysis of occupational risks in the mining industry showed that workers are simultaneously exposed to multiple workplace factors. Among them, respirable occupational dust, noise, and vibration are the most consistently studied hazards. In addition, chemical substances, adverse microclimatic conditions, high physical workloads, and psychosocial factors may also affect workers' occupational health [13-18].

Among occupational dust exposures, respirable particles containing crystalline silica are of particular concern. Studies have shown that prolonged exposure to such particles is associated with pneumoconiosis, silicosis, and chronic obstructive pulmonary disease [10, 13, 14, 19]. At the same time, recent research has increasingly shifted from describing individual diseases toward the integrated assessment of dust concentrations, duration of exposure, and the effectiveness of engineering control measures [10, 19].

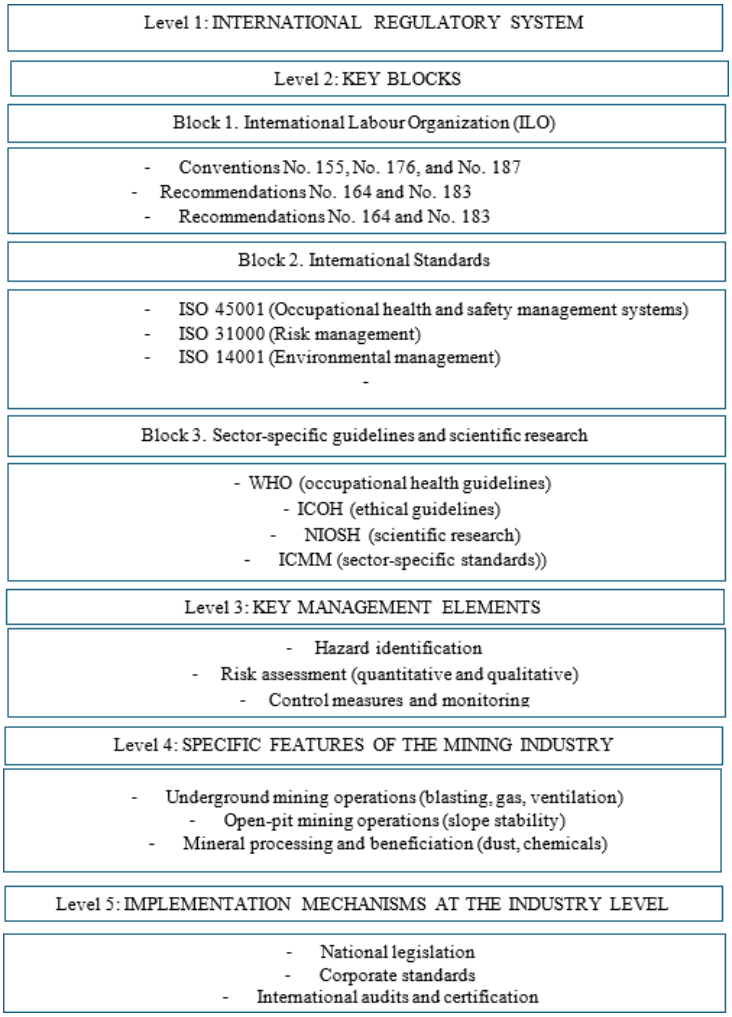


Fig. 1 - International framework for managing occupational risks and protecting the health of mining workers

Noise and vibration are also important occupational hazards in mining. Long-term exposure to excessive noise increases the risk of occupational hearing loss, whereas vibration exposure is associated with disorders of the circulatory, nervous, and musculoskeletal systems [18-20]. Therefore, the assessment of workplace hazards

should not be limited to measuring their individual exposure levels but should also account for exposure duration, intensity, and the simultaneous effects of multiple factors.

The analysis of international regulatory documents and scientific and methodological recommendations made it possible to systematize the main levels and interconnected elements of occupational risk management and occupational health protection in the mining industry. Their structural relationships are presented in Figure 1.

Figure 1 illustrates that the international regulatory and methodological framework for occupational risk management in the mining industry consists of several interconnected levels. The system is based on ILO documents, ISO standards, and sector-specific and scientific recommendations issued by international organizations. Their implementation includes hazard identification, occupational risk assessment, development of control measures, and monitoring of the work environment. This approach is aimed at preventing occupational injuries and diseases and promoting a strong safety culture within mining enterprises [5-9].

Occupational risks in the mining industry are characterized by the combined effects of physical, chemical, biological, ergonomic, and psychosocial factors present in the work environment. Compared with many other industrial sectors, mining workers are typically exposed to multiple hazardous factors simultaneously. This substantially increases the risk of occupational diseases, workplace injuries, and premature loss of work capacity [4, 13]. Similar findings have been reported in studies conducted by Kazakhstani researchers, which demonstrated the combined impact of workplace factors on workers' health [14]. Contemporary research places particular emphasis on occupational dust exposure because of its widespread occurrence and its significant adverse effects on the respiratory system, making it one of the most important occupational hazards in the mining industry.

Effects of Occupational Dust on Workers' Health

The greatest health risk is associated with respirable dust containing crystalline silica. Long-term exposure to such dust can lead to pneumoconiosis, silicosis, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and other respiratory disorders. Despite advances in mineral extraction technologies and the implementation of modern dust-suppression methods, controlling airborne dust concentrations in the workplace remains a major challenge in many countries [10, 13, 15].

In a review conducted by Duarte and colleagues, studies on mineral dust exposure among mining and quarrying workers were analyzed. The authors noted that contemporary research has shifted from evaluating individual occupational diseases toward a comprehensive assessment of dust exposure levels, working conditions, and the effectiveness of engineering controls aimed at reducing occupational risks. Particular attention was paid to the need for continuous monitoring of respirable dust concentrations, improvement of ventilation systems, advancement of dust-control technologies, and strengthening of industrial hygiene measures [10].

Li and colleagues, in a study involving workers exposed to different types of occupational dust, found that prolonged exposure to silica-containing dust has the most detrimental effects on human health. The authors demonstrated statistically significant associations between duration of occupational exposure, workplace dust levels, pathological changes in the respiratory system, impaired lung function, cardiovascular diseases, and hearing loss. Furthermore, the probability of developing occupational pathology increased significantly among workers with more than ten years of exposure and under conditions of high dust intensity [15].

These findings are consistent with the conclusions reported by Donoghue, who emphasized that respiratory diseases continue to occupy a leading position in the structure of occupational pathology among mining workers despite technological improvements and stricter occupational safety requirements [13]. Similar conclusions were presented by Leung and colleagues, who reported that exposure to crystalline silica remains one of the primary causes of silicosis. Silicosis continues to be among the most prevalent occupational respiratory diseases in industries involving exposure to silica-containing dust [14].

The analysis of recent scientific literature indicates that research has evolved from focusing on individual respiratory diseases toward a comprehensive evaluation of the effects of occupational dust on multiple physiological systems. This trend highlights the need for continuous monitoring of respirable dust concentrations, improvement of engineering dust-control measures and ventilation systems, and implementation of risk-based approaches to occupational risk management in mining enterprises.

Effects of Physical Factors in the Work Environment

In addition to occupational dust, physical factors in the workplace pose substantial risks to the health of mining workers. These factors include occupational noise, whole-body and hand-arm vibration, adverse microclimatic conditions, insufficient workplace lighting, and high physical workloads. The combined effects of these exposures increase the risk of occupational disorders affecting the auditory, musculoskeletal, cardiovascular, and nervous systems, while also contributing to reduced work capacity [16-19].

One of the most widespread adverse factors is occupational noise generated by drilling equipment, crushing systems, mining machinery, ventilation installations, and transport vehicles. According to Azman and Jamir, long-term exposure to noise levels exceeding permissible limits significantly increases the risk of occupational hearing loss, impairs concentration, elevates stress levels, and reduces worker productivity [16]. Similar findings have been reported by the U.S. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), which identifies noise reduction as one of the priority areas for improving occupational safety in the mining industry [17].

Occupational vibration is another important hazard. It is generated during the operation of drilling rigs, excavators, haul trucks, and other heavy equipment. Prolonged exposure to vibration may lead to peripheral circulatory disorders, musculoskeletal damage, spinal diseases, and functional disorders of the nervous system. Recent studies emphasize the importance of technical measures for vibration reduction, equipment design improvements, and the optimization of work-rest schedules for exposed workers [18].

Mining operations are also characterized by exposure to adverse microclimatic conditions, particularly during surface mining activities conducted under extreme temperatures. The combination of high physical workloads and thermal stress contributes to fatigue, decreased performance, and an increased likelihood of errors during work operations. Consequently, the risk of occupational accidents rises significantly under such conditions [19].

Overall, contemporary research demonstrates that physical workplace factors exert a complex and multifaceted impact on the health of mining workers. Effective prevention of occupational diseases and workplace injuries requires engineering, organizational, and occupational hygiene measures aimed at reducing noise and vibration levels, improving working conditions, maintaining continuous monitoring of environmental parameters, and implementing medical screening programs for workers exposed to physical hazards.

Integrated Approaches to Occupational Risk Assessment

Modern approaches to occupational risk assessment in the mining industry are based on comprehensive evaluations of working conditions that consider the combined effects of physical, chemical, ergonomic, and psychosocial factors. Unlike traditional methods focused on individual workplace hazards, contemporary research emphasizes integrated risk assessment through the application of statistical models, multicriteria assessment techniques, and risk-based management systems [4, 20].

According to Zhang and colleagues, the health status of mining workers is determined not by a single occupational factor but by the cumulative effects of multiple exposures. The authors identified occupational dust, excessive noise, nitrogen oxides, heavy metals, vibration, adverse microclimatic conditions, awkward working postures, and psychosocial stressors as the most significant risk factors. These findings support the necessity of adopting a multifactorial approach when assessing occupational risks and developing preventive measures [4].

The results are consistent with the conclusions of Bekmagambetov and colleagues, who identified causal relationships between working conditions and the development of occupational diseases using an industrial enterprise in the Republic of Kazakhstan as a case study. The authors demonstrated that a risk-based approach enables a more objective assessment of the impact of workplace factors on workers' health and facilitates the development of effective preventive measures [21].

In a scoping review of occupational injuries in the mining industry, Cruz-Ausejo and colleagues identified insufficient occupational risk assessment, non-compliance with safety requirements, inadequate worker training, poor technical condition of equipment, and ineffective workplace supervision as the most common causes of occupational accidents [20].

The analysis of contemporary scientific literature indicates that the most effective occupational risk management systems are those that integrate international standards, quantitative risk assessment methods, and digital technologies for workplace monitoring. A comprehensive risk-based approach facilitates the timely identification of hazards, reduces the likelihood of occupational injuries and diseases, and

contributes to the preservation of workers' health in the mining industry.

In this context, modern monitoring technologies, including wearable sensors, personal monitoring devices, and stationary systems, can be used for continuous assessment of dust, noise, vibration, and microclimatic conditions. Quantitative risk assessment can combine exposure intensity and duration with the probability and severity of adverse outcomes, allowing high-risk workplaces and occupational groups to be prioritized. For mining enterprises in Kazakhstan, the integration of such technologies with existing occupational safety management systems can improve the timeliness and objectivity of risk assessment and support evidence-based preventive measures.

The reviewed studies employ different methodological approaches to occupational risk assessment in the mining industry. Some investigations focus primarily on occupational dust exposure and its health effects, whereas others address the multifactorial nature of occupational risks and the organizational causes of workplace injuries. The characteristics and principal findings of the key studies are summarized in Table 2.

Table 2 - Contemporary studies on occupational risks and occupational health of mining workers

Author	Year	Study subject	Research method	Main findings
Duarte J. et al.	2022	Exposure to mineral dust	Literature review	Occupational dust is a major occupational risk factor
Li M. et al.	2025	Workers exposed to occupational dust	Cross-sectional study	An association was identified between the duration of dust exposure and the development of occupational diseases
Zhang B. et al.	2024	Risk factors in the mining industry	Multifactorial analysis	The combined effects of occupational dust, noise, and vibration were identified
Cruz-Ausejo L. et al.	2024	Occupational injuries	Scoping review	Organizational and technical risk factors were identified

A comparison of the studies presented in Table 2 demonstrates the multifactorial nature of occupational risks in the mining industry. The review by Duarte et al. showed that occupational dust remains a persistent occupational hazard in mining and earthmoving activities [10], whereas Li et al. assessed the relationship between the duration of dust exposure and workers' health status [18]. These findings indicate that occupational dust should be monitored not only as an individual risk factor but also with consideration of the duration and intensity of exposure.

The study by Zhang et al. demonstrated that workers' occupational health is affected by the simultaneous exposure to multiple workplace factors, supporting the importance of multifactorial risk assessment [4]. The review by Cruz-Ausejo et al. showed that occupational injuries are associated not only with workplace hazards but also with organizational and technical conditions [20].

Comparison of these studies identified three interrelated areas that should be considered when assessing occupational risks in the mining industry: the level and duration of exposure to workplace hazards; the combined effects of multiple hazardous factors; the influence of organizational and technical conditions on occupational injuries.

The practical implementation of international requirements in the field of occupational safety and occupational health in the mining industry is achieved through the introduction of occupational risk management systems based on the principles of the International Labour Organization (ILO) and the requirements of ISO 45001:2018 [5, 8]. In most industrialized countries, occupational safety is considered not merely as compliance with legal requirements, but as an integral component of corporate management aimed at preventing occupational injuries, protecting workers' health, and ensuring sustainable enterprise development [1, 4].

Australia, Canada, the United States, and the European Union have accumulated extensive experience in implementing modern occupational safety management systems. Enterprises in these countries widely apply a risk-based approach that includes continuous hazard identification, occupational risk assessment, development of preventive measures, and continuous improvement of occupational safety and occupational health management systems. Particular attention is also given to active worker participation in safety management processes, systematic personnel training, and the development of a safety culture at all organizational levels [4, 11, 12].

According to Podrecca et al., the implementation of ISO 45001 has a positive effect not only on occupational safety performance but also on the overall performance of enterprises. The authors found that organizations implementing modern occupational safety and occupational health management systems demonstrate improved sustainability performance, reduced rates of occupational injuries, and more effective occupational risk management. The most pronounced positive effects were observed in enterprises with high levels of occupational hazards, including the mining industry [20].

The practical application of ISO 45001:2018 in Kazakhstani mining enterprises can be organized through a continuous risk-management cycle based on the Plan–Do–Check–Act principle. At the planning stage, enterprises should identify hazards associated with mining operations, including respirable dust, noise, vibration, chemical agents, thermal stress, physical workload, machinery, transportation, and psychosocial factors, and evaluate the corresponding occupational risks. The implementation stage should prioritize the hierarchy of controls, giving preference to elimination and engineering controls over administrative measures and personal protective equipment. The checking stage should include regular monitoring of workplace exposures, occupational incidents, near misses, workers' health indicators, and compliance with established risk-control measures. At the improvement stage, the results should be reviewed by management and used to revise risk assessments, preventive measures, training programs, and emergency procedures.

For mining enterprises in Kazakhstan, ISO 45001 can therefore serve not only as a certification framework but also as an operational management tool. Its effectiveness would be increased by integrating occupational hygiene measurements, medical surveillance, digital monitoring systems, contractor safety management, and worker participation into the same occupational health and safety management system. This approach would facilitate the transition from reactive responses to accidents and occupational diseases toward proactive prevention based on early identification and control of occupational risks.

The International Labour Organization plays an important role in advancing international practices. The organization implements initiatives aimed at developing a safety culture, strengthening social dialogue, and improving national occupational safety management systems. Particular attention is given to worker training, improving employers' competencies, developing occupational risk assessment methods, organizing medical surveillance, and preventing occupational diseases. In recent years, the ILO has also implemented initiatives aimed at improving occupational safety in the mining industries of developing countries, including the countries of Central Asia [5-7].

Analysis of international experience indicates that the most effective occupational safety management systems are based on the integrated application of international regulatory requirements, a risk-based approach, and the principles of continuous improvement. Active worker participation in hazard identification, systematic occupational risk assessment, development of a safety culture, and regular personnel training make a significant contribution to improving occupational safety.

At the same time, analysis of scientific publications indicates that the implementation of international standards in mining enterprises is accompanied by a number of organizational and economic challenges. The main limiting factors include insufficient financial resources, differences in national regulatory systems, a shortage of qualified specialists in occupational safety and occupational health, and insufficient digitalization of workplace monitoring and control processes. Despite these limitations, international experience demonstrates that integrating ILO requirements, ISO 45001:2018 provisions, and modern occupational risk management methods can contribute to reducing occupational injuries and diseases in mining enterprises and improving the effectiveness of occupational safety management systems.

The mining industry of the Republic of Kazakhstan is one of the leading sectors of the national economy and is characterized by high levels of exposure to hazardous and harmful workplace factors. According to the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan, 298.3 thousand people were employed in the mining and quarrying sector in the first quarter of 2026, representing a 3.4% increase compared with the same period of 2025 [22]. In 2025, 2,328 work-related accidents were registered in Kazakhstan, including 130 workers injured in the mining industry, while 408 cases of occupational diseases were registered nationwide [23]. Studies conducted by Kazakhstani researchers identify occupational dust, noise, vibration, adverse microclimatic conditions, and high physical workloads among the most significant factors affecting workers' health. This confirms the need to further improve occupational risk management systems and introduce modern preventive approaches based on international experience [17]. In this regard, the application of

international standards and advanced international practices is considered one of the priority directions for improving the effectiveness of occupational injury and disease prevention [8, 10, 11].

Table 3 - International experience in implementing occupational safety management systems in the mining industry

Country (or region)	Main approach	Applicable international documents	Main outcomes
Australia	Risk-based management	ISO 45001, ILO	Reduction in occupational injury rates; development of a safety culture
European Union	Integrated management systems	ISO 45001, EU Directives	Improvement of occupational risk assessment systems
United States	Workplace monitoring and control	NIOSH, ISO 45001	Reduction of exposure to hazardous workplace factors
China	Risk-based safety management, hazard identification and monitoring	National mining safety regulations, occupational disease prevention requirements	Strengthening safety responsibility, risk prevention and monitoring of mining operations
Kazakhstan (ILO-implemented projects)	Harmonization with international requirements	ILO Conventions, ILO projects	Development of social dialogue and improvement of the occupational safety system

In recent years, the Republic of Kazakhstan has undertaken systematic efforts to improve the regulatory and legal framework in the field of occupational safety, taking into account international requirements. The development of a risk-based approach, the introduction of modern occupational risk management systems, and the expansion of ISO 45001 implementation in large industrial enterprises indicate the gradual alignment of the national occupational safety system with international requirements [8, 14].

Cooperation between the Republic of Kazakhstan and the International Labour Organization (ILO) plays an important role in this process. Ongoing projects are aimed at developing social dialogue, improving occupational risk assessment methods, enhancing the qualifications of specialists, introducing modern approaches to the prevention of occupational injuries and diseases, and improving systems for medical surveillance of workers' health. Particular attention is also given to developing a safety culture, improving preventive measures, and increasing the effectiveness of state and workplace monitoring of working conditions [5-7].

Despite the progress achieved, analysis of the scientific literature and international experience indicates that several factors continue to limit the full implementation of international approaches in domestic enterprises. These findings are consistent with the results of the study by Bekmagambetov et al., which confirmed a causal relationship between adverse working conditions and the development of occupational diseases in industrial enterprises in Kazakhstan [24]. The main challenges include differences in the level of development of occupational safety management systems across enterprises, insufficient implementation of modern occupational risk assessment methods in workplace practice, limited capacity of occupational health services, as well as the need for further professional development of specialists and improvement of preventive programs [8].

One of the promising directions for developing the national occupational safety system is the further implementation of risk-based management based on international standards and modern scientific approaches to occupational risk assessment [4, 11]. Recent studies also emphasize the need to improve the classification of working conditions and worker categories while taking into account the introduction of new production technologies, digitalization of industrial processes, and the principles of sustainable development [25]. In addition, particular importance should be given to developing modern occupational risk assessment

methods, improving medical surveillance systems for workers, strengthening the safety culture, enhancing the human-resource capacity of occupational safety services, and expanding cooperation among government authorities, employers, research organizations, and workers [4, 20].

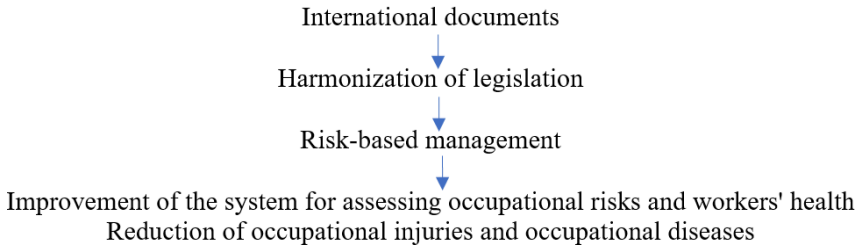


Fig. 2 - Key directions for improving the occupational safety system in the mining industry of the Republic of Kazakhstan based on international experience

Implementation of international approaches in the national occupational safety system

The implementation of the main directions for integrating international approaches into the national occupational safety system should not be limited to improving the regulatory and legal framework. It should also focus on developing modern approaches to the management of occupational risks and workers' occupational health, improving methods for assessing occupational risks and occupational health, developing occupational health services at enterprises, enhancing the professional competencies of specialists, fostering a safety culture, and strengthening social partnership in the field of occupational safety.

Results and Discussion. An analysis of the current scientific literature showed that ensuring occupational safety and protecting the occupational health of mining workers are increasingly based on a risk-based approach that involves a comprehensive assessment of working conditions and continuous management of occupational risks. Analysis of international regulatory documents and scientific publications demonstrated that the requirements of the International Labour Organization (ILO), the World Health Organization (WHO), the International Commission on Occupational Health (ICOH), and ISO 45001:2018 form a common methodological basis for modern occupational safety management systems, while their effectiveness is supported by findings from studies conducted in different countries [5, 8, 11, 12].

Unlike earlier studies that primarily focused on individual occupational hazards, recent research considers occupational risks as the result of the combined effects of physical, chemical, ergonomic, organizational, and psychosocial factors in the working environment. This approach allows for a more objective assessment of working conditions and provides a basis for developing comprehensive preventive measures aimed at preventing occupational injuries and diseases. The findings are consistent with the conclusions of Bekmagambetov et al., who confirmed the relationship between working conditions and the development of occupational diseases in industrial enterprises in the Republic of Kazakhstan, as well as with the findings of Aktaeva et al., who demonstrated the combined effects of occupational factors on the health of mining workers [21, 23].

The review showed that the most effective management systems are those that integrate the requirements of international standards, quantitative occupational risk assessment methods, engineering preventive measures, medical surveillance, and active worker participation in ensuring occupational safety. At the same time, the effectiveness of implementing such systems largely depends on the level of development of national legislation, the organizational culture of enterprises, the availability of qualified specialists, and access to modern technologies for occupational monitoring. These factors largely explain differences in the effectiveness of implementing international approaches between industrialized and developing countries.

The Chinese experience further demonstrates that the practical implementation of risk-based occupational safety management requires not only regulatory requirements but also clearly assigned responsibilities, systematic workplace monitoring, regular inspections, and continuous hazard prevention.

A comparison of international approaches with the current occupational safety system in the Republic of Kazakhstan indicates that the main principles of risk-based management are incorporated into the national regulatory framework. Kazakhstan's legislation requires occupational risk assessment, monitoring of working conditions, implementation of occupational safety management systems, and corrective measures.

The national approach is therefore generally consistent with the preventive principles of ILO instruments and ISO 45001:2018. However, the practical integration of these principles into enterprise-level management remains less consistent. International mining practices increasingly link risk assessment with operational decision-making, worker participation, emergency preparedness, and continuous improvement, while their implementation in Kazakhstan varies among enterprises depending on organizational capacity, qualified personnel, technologies, and safety culture.

For Kazakhstan's mining industry, international approaches should therefore be adapted to national legislation and specific mining conditions. Particular attention should be given to integrating workplace monitoring, occupational risk assessment, medical surveillance, and preventive measures into a single management cycle to support a more proactive, evidence-based approach to occupational safety.

One of the main limitations of this review is the limited number of recent studies addressing occupational risks among mining workers in Central Asian countries, including the Republic of Kazakhstan. Most published studies have been conducted in Europe, North America, and Australia, which limits the direct applicability of their findings to regional conditions. In addition, a lack of comprehensive epidemiological studies assessing the combined effects of occupational factors on the health of mining workers in Kazakhstan was identified [4, 21-24].

The main strength of this review is the comprehensive analysis of international regulatory documents, recent scientific studies, and national publications. This made it possible to systematize modern approaches to occupational risk management and identify promising areas for improving the national occupational safety system. The findings can be used to develop risk-based models for occupational risk management at mining enterprises in the Republic of Kazakhstan, improve the regulatory and legal framework, and introduce modern approaches to the prevention of occupational diseases.

Conclusion. A systematic review of international regulatory documents and recent scientific studies showed that effective occupational safety and protection of the occupational health of mining workers should be based on a risk-based approach involving comprehensive hazard identification, occupational risk assessment, implementation of preventive measures, and continuous improvement of occupational safety management systems in accordance with international standards [4, 8, 11, 12, 22, 23].

The analysis of the scientific literature showed that the most effective management systems integrate ILO requirements, the provisions of ISO 45001:2018, the recommendations of the World Health Organization and the International Commission on Occupational Health (ICOH), modern occupational risk assessment methods, engineering control measures, medical surveillance, and the development of a safety culture. The comprehensive application of these approaches contributes to reducing occupational injuries and diseases and improving the operational efficiency of mining enterprises [5, 8, 20].

The review findings indicate that, for the Republic of Kazakhstan, further improvement of the national occupational safety system should focus on the wider implementation of risk-based management, harmonization of the regulatory and legal framework with international requirements, improvement of occupational risk assessment methods, development of occupational health services, and enhancement of the effectiveness of preventive measures, taking into account the specific characteristics of the domestic mining industry [4, 24, 25].

At the enterprise level, priority should be given to regular occupational risk assessment, continuous monitoring of hazardous workplace factors, strengthening engineering controls, and integrating the results of workplace monitoring with medical surveillance. Occupational health services should focus on early detection of occupational diseases, risk-oriented medical examinations, monitoring of workers exposed to high-risk factors, and participation in the development of preventive measures. These measures would strengthen the practical implementation of risk-based occupational safety management in mining enterprises in Kazakhstan.

The analysis identified the insufficient number of comprehensive studies on occupational risks among mining workers in Central Asian countries as one of the main limitations of current scientific knowledge. This highlights the need for further epidemiological studies, development of scientifically based methods for comprehensive occupational risk assessment, adaptation of international approaches to the conditions of the Republic of Kazakhstan, and implementation of digital technologies for monitoring working conditions.

The analysis of international practices, including the experience of China, demonstrates the importance of combining regulatory requirements with systematic risk identification, workplace monitoring, preventive measures, and clearly defined safety responsibilities. For Kazakhstan, these approaches should be adapted

to national legislation and the specific conditions of the mining industry, taking into account the current occupational injury and occupational disease situation.

The findings may be used to improve public policy in the field of occupational safety, develop corporate occupational risk management systems, train occupational safety specialists, and formulate scientifically based recommendations for mining enterprises.

Funding. *This study was conducted within the framework of the scientific and technical program "Scientific and methodological foundations for improving the mechanisms for the detection and prevention of occupational diseases among workers employed in hazardous working conditions" (IRN BR35237876), implemented by the Republican Research Institute for Occupational Safety and Health of the Ministry of Labour and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan and funded through program-targeted financing*.

Литература

1. Бухтияров И.В., Кузьмина Л.П., Измерова Н.И., Головкова Н.П., Непершина О.П. Совершенствование механизмов выявления ранних признаков нарушения здоровья для сохранения трудового долголетия // Медицина труда и промышленная экология. - 2022. - Т. 62(6). - С. 377-387. DOI 10.31089/1026-9428-2022-62-6-377-387.
2. Газимова В.Г., Рузаков В.О., Шастин А.С., Федорук А.А., Гурвич В.Б., Плотко Э.Г. Основные организационные вопросы профилактики заболеваемости работающего населения в современных условиях // Медицина труда и промышленная экология. - 2018. - № 11. - С. 32-35. DOI 10.31089/1026-9428-2018-11-32-35.
3. Zhang B., Yin X., Guo Y., Tong R. What occupational risk factors significantly affect miners' health: Findings from meta-analysis and association rule mining // Journal of Safety Research. - 2024. - Vol. 89. - P. 197-209. DOI 10.1016/j.jsr.2024.02.010.
4. The General Conference of the international Labour Organization. C176 Safety and Health in Mines Convention, 1995 (No. 176). Geneva: - 1995. - URL: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C176. - Date of access: 12.05.2026.
5. International Labour Organization. Safety and Health in Mines Recommendation, 1995 (No. 183). Geneva: International Labour Organization, 1995. URL: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:R183 - Date of access: 12.05.2026.
6. Safety and Health in Opencast Mines // Code of Practice. Geneva: International Labour Organization. - 2018. - URL: https://researchrepository.ilo.org/esploro/outputs/encyclopediaEntry/Safety-and-health-in-opencast-mines/995219053102676. - Date of access: 12.05.2026.
7. ISO 45001:2018. Occupational Health and Safety Management Systems - Requirements with Guidance for Use. Geneva: - 2018. - URL: https://www.iso.org/standard/63787.html#lifecycle. - Date of access: 12.05.2026.
8. Occupational Health Services Convention, 1985 (No. 161). Geneva. - 1985. - URL: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:55:0:::55:P55_TYPE,P55_LANG,P55_DOCUMENT,P55_NODE:CON,en,C161,/Document. - Date of access: 20.05.2026.
9. Duarte J., Castelo Branco J., Rodrigues F., Vaz M. et.al. Occupational exposure to mineral dust in mining and earthmoving works: A scoping review // Safety. - 2022. - Vol. 8(1):9. DOI 10.3390/safety8010009.
10. Screening Programmes: A Short Guide. Increase Effectiveness, Maximize Benefits and Minimize Harm. - 2020. - URL: https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289054782. - Date of access: 20.05.2026.
11. International Commission on Occupational Health. International Code of Ethics for Occupational Health Professionals. 4th ed. Rome: ICOH, 2014. URL: https://www.icohweb.org/site/multimedia/code_of_ethics/code-of-ethics-en.pdf. - Date of access: 20.05.2026.
12. Donoghue A.M. Occupational health hazards in mining: An overview // Occupational Medicine. - 2004. - Vol. 54(5). - P. 283-289. DOI 10.1093/occmed/kqh072.
13. Leung C.C., Yu I.T.S., Chen W. Silicosis // The Lancet. - 2012. - Vol. 379(9830). - P. 2008-2018. DOI 10.1016/S0140-6736(12)60235-9.
14. Sun K., Azman A.S., Camargo H.E., Dempsey P.G. Evaluating hearing loss risks in the mining industry through MSHA citations // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. - 2018. - Vol. 15(3). - P. 246-262. DOI 10.1080/15459624.2017.1412584.

15. National Research Council and Institute of Medicine. Mining Safety and Health Research at NIOSH: Reviews of Research Programs of the National Institute for Occupational Safety and Health. Washington, DC: The National Academies Press. - 2007. - 290 p. DOI 10.17226/11850. URL: https://www.nationalacademies.org/publications/11850. - Date of access: 20.05.2026.
16. Bovenzi M. Health risks from occupational exposures to mechanical vibration // Medicina del Lavoro. - 2006. - Vol. 97(3). - P. 535-541. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17009691/. - Date of access: 22.05.2026.
17. Parsons K. Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance, Trird Edition. // Book. - 2014. DOI 10.1201/b16750. - Date of access: 22.08.2026.
18. Li M., Wu C., Zhang Y., Jiang Y., Lin J., Xiang J. Effects of occupational dust exposure on the health status of workers in China // Scientific Reports. - 2025. - Vol. 15:19487. DOI 10.1038/s41598-025-04014-3.
19. Podrecca M., Molinaro M., Sartor M., Orzes G. The impact of ISO 45001 on firms' performance: An empirical analysis // Corporate Social Responsibility and Environmental Management. - 2024. - Vol. 31(5). - P. 4581-4595. DOI 10.1002/csr.2782.
20. Cruz-Ausejo L., Cama-Ttito N.A., Flores Solano P., et.al. Occupational accidents in mining workers: Scoping review of studies published in the last 13 years // BMJ Open. - 2024. - Vol. 14(10): e080572. DOI 10.1136/bmjopen-2023-080572.
21. Bekmagambetov A., Rakhmetova A., Yedilbayeva L., Daumova G., Kulmagambetova E., Abdrakhmanova N., Sagindykova N. A study on causal relationships between working conditions and occupational diseases: A case study of a phosphorus plant in Kazakhstan // International Journal of Safety and Security Engineering. - 2025. - Vol. 15(5). - P. 973-985. DOI 10.18280/ijsse.150511.
22. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Численность занятого населения в ключевых отраслях экономики продолжает расти // Бюро национальной статистики. – 2026. – URL: https://stat.gov.kz/ru/news/4-chislennost-zanyatogo-naseleniya-v-klyuchevykh-otraslyakh-ekonomiki-prodolzhaet-rasti/. – Дата обращения: 22.05.2026.
23. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. О травматизме, связанном с трудовой деятельностью, и профессиональных заболеваниях в Республики Казахстан (2025 г.) // Бюро национальной статистики. - 2026. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/socialstatistics/stat-medicine/publications/485884/. - Дата обращения: 28.05.2026.
24. Актаева Л.М., Рахметова А.М., Кульмагамбетова Э.А., Алшынбекова Г.К., Шилменова А.Т., Сагиндикова Н.Т., Ташенов А.Ш., Еркінбекова А.Е. Тау-кен саласындағы еңбек жағдайларының жұмыскерлердің денсаулық жағдайына әсерін талдау // Вестник КазУТБ. - 2026. - Т. 2 (31). - С. 560-573. DOI 10.58805/kazutb.v.2.31-1652.
25. Aktayeva L., Bekmagambetov A., Yedilbayeva L., Rakhmetova A., Daumova G., Kulmagambetova E., Sagindykova N. Impact of Green Jobs on Worker Classification and Categorization // International Journal of Safety and Security Engineering. - 2025. - Vol. 15(9). - P. 1861-1872. DOI 10.18280/ijsse.150910.

References

1. Buhtijarov I.V., Kuz'mina L.P., Izmerova N.I., Golovkova N.P., Nepershina O.P. Sovershenstvovanie mehanizmov vyjavlenija rannih priznakov narushenija zdorov'ja dlja sohranenija trudovogo dolgoletija // Medicina truda i promyshlennaja jekologija. - 2022. - T. 62(6). - S. 377-387. DOI 10.31089/1026–9428-2022-62-6-377-387. [in Russian]
2. Gazimova V.G., Ruzakov V.O., Shastin A.S., Fedoruk A.A., Gurvich V.B., Plotko Je.G. Osnovnye organizacionnye voprosy profilaktiki zabolevaemosti rabotajushhego naselenija v sovremennyh uslovijah // Medicina truda i promyshlennaja jekologija. - 2018. - № 11. - S. 32–35. DOI 10.31089/1026-9428-2018-11-32-35. [in Russian]
3. Zhang B., Yin X., Guo Y., Tong R. What occupational risk factors significantly affect miners' health: Findings from meta-analysis and association rule mining // Journal of Safety Research. - 2024. - Vol. 89. - P. 197-209. DOI 10.1016/j.jsr.2024.02.010.
4. The General Conference of the international Labour Organization. C176 Safety and Health in Mines Convention, 1995 (No. 176). Geneva: - 1995. - URL: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C176. - Date of access: 12.05.2026.

5. International Labour Organization. Safety and Health in Mines Recommendation, 1995 (No. 183). Geneva: International Labour Organization, 1995. URL: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:R183 - Date of access: 12.05.2026.
6. Safety and Health in Opencast Mines // Code of Practice. Geneva: International Labour Organization. - 2018. - URL: https://researchrepository.ilo.org/esploro/outputs/encyclopediaEntry/Safety-and-health-in-opencast-mines/995219053102676. - Date of access: 12.05.2026.
7. ISO 45001:2018. Occupational Health and Safety Management Systems - Requirements with Guidance for Use. Geneva: - 2018. - URL: https://www.iso.org/standard/63787.html#lifecycle. - Date of access: 12.05.2026.
8. Occupational Health Services Convention, 1985 (No. 161). Geneva. - 1985. - URL: https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:55:0:::55:P55_TYPE,P55_LANG,P55_DOCUMENT,P55_NODE:CON,en,C161,/Document. - Date of access: 20.05.2026.
9. Duarte J., Castelo Branco J., Rodrigues F., Vaz M. et.al. Occupational exposure to mineral dust in mining and earthmoving works: A scoping review/Safety. - 2022. - Vol. 8(1):9. DOI 10.3390/safety8010009.
10. Screening Programmes: A Short Guide. Increase Effectiveness, Maximize Benefits and Minimize Harm. - 2020. - URL: https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289054782. - Date of access: 20.05.2026.
11. International Commission on Occupational Health. International Code of Ethics for Occupational Health Professionals. 4th ed. Rome: ICOH, 2014. URL: https://www.icohweb.org/site/multimedia/code_of_ethics/code-of-ethics-en.pdf. - Date of access: 20.05.2026.
12. Donoghue A.M. Occupational health hazards in mining: An overview // Occupational Medicine. - 2004. - Vol. 54(5). - P. 283-289. DOI 10.1093/occmed/kqh072.
13. Leung C.C., Yu I.T.S., Chen W. Silicosis // The Lancet. - 2012. - Vol. 379(9830). - P. 2008-2018. DOI 10.1016/S0140-6736(12)60235-9.
14. Sun K., Azman A.S., Camargo H.E., Dempsey P.G. Evaluating hearing loss risks in the mining industry through MSHA citations // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. - 2018. - Vol. 15(3). - P. 246-262. DOI 10.1080/15459624.2017.1412584.
15. National Research Council and Institute of Medicine. Mining Safety and Health Research at NIOSH: Reviews of Research Programs of the National Institute for Occupational Safety and Health. Washington, DC: The National Academies Press. - 2007. - 290 p. DOI 10.17226/11850. URL: https://www.nationalacademies.org/publications/11850. - Date of access: 20.05.2026.
16. Bovenzi M. Health risks from occupational exposures to mechanical vibration // Medicina del Lavoro. - 2006. - Vol. 97(3). - P. 535-541. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17009691/. - Date of access: 22.05.2026.
17. Parsons K. Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance, Trird Edition. // Book. - 2014. DOI 10.1201/b16750. - Date of access: 22.08.2026.
18. Li M., Wu C., Zhang Y., Jiang Y., Lin J., Xiang J. Effects of occupational dust exposure on the health status of workers in China // Scientific Reports. - 2025. - Vol. 15:19487. DOI 10.1038/s41598-025-04014-3.
19. Podrecca M., Molinaro M., Sartor M., Orzes G. The impact of ISO 45001 on firms' performance: An empirical analysis // Corporate Social Responsibility and Environmental Management. - 2024. - Vol. 31(5). - P. 4581-4595. DOI 10.1002/csr.2782.
20. Cruz-Ausejo L., Cama-Ttito N.A., Flores Solano P., et.al. Occupational accidents in mining workers: Scoping review of studies published in the last 13 years // BMJ Open. - 2024. - Vol. 14(10): e080572. DOI 10.1136/bmjopen-2023-080572.
21. Bekmagambetov A., Rakhmetova A., Yedilbayeva L., Daumova G., Kulmagambetova E., Abdrakhmanova N., Sagindykova N. A study on causal relationships between working conditions and occupational diseases: A case study of a phosphorus plant in Kazakhstan // International Journal of Safety and Security Engineering. - 2025. - Vol. 15(5). - P. 973-985. DOI 10.18280/ijsse.150511.
22. Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. Chislennost' zanjatogo naselenija v kljuchevyh otrasljah jekonomiki prodolzhaet rasti // Bjuro nacional'noj statistiki. – 2026. – URL: https://stat.gov.kz/ru/news/4-chislennost-zanyatogo-naseleniya-v-klyuchevykh-otraslyakh-ekonomiki-prodolzhaet-rasti/. – Data obrashhenija: 22.05.2026. [in Russian]
23. Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. O travmatizme, svjazannom s trudovoj dejatel'nost'ju, i professional'nyh zabolevanijah v Respublike Kazahstan

(2025 g.) // Bjuro nacional'noj statistiki. - 2026. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/socialstatistics/stat-medicine/publications/485884/. - Data obrashhenija: 28.05.2026. [in Russian]
24. Aktaeva L.M., Rahmetova A.M., Kul'magambetova Je.A., Alshynbekova G.K., Shilmenova A.T., Sagindikova N.T., Tashenov A.Sh., Erkinbekova A.E. Tau-ken salasyndarу eңbek zharғdajlarynyң zhұmyskerlerdің densaulyқ zharғdajynaəserin taldau // Vestnik KazUTB. - 2026. - T. 2 (31). - S. 560-573. DOI 10.58805/kazutb.v.2.31-1652. [in Kazakh]
25. Aktayeva L., Bekmagambetov A., Yedilbayeva L., Rakhmetova A., Daumova G., Kulmagambetova E., Sagindykova N. Impact of Green Jobs on Worker Classification and Categorization // International Journal of Safety and Security Engineering. - 2025. - Vol. 15(9). - P. 1861-1872. DOI 10.18280/ijsse.150910.

Information about the authors

Bekmagambetov A.B.-Candidate of Legal Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Center for Scientific Research, adilet1979@mail.ru;

Rakhmetova A.M. - Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Kulmagambetova E.A. - Candidate of Chemical Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Alshynbekova G.K. - Candidate of Biological Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: gulnaz_gak@mail.ru;

Sarybayeva I.Ye. - Master of Economic Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail: inarasaribaeva@gmail.com;

Yerkinbekova A.Ye.- Master of Technical Sciences, The Center for Scientific Research, Astana, Kazakhstan, e-mail, aizada211002@gmail.com.

Marcelloni R.- Master' s degree, National Institute for Insurance Against Accidents at Work (INAIL), Rome, Italy e-mail: r.marcelloni@inail.it.

Информация об авторах

Бекмагамбетов А.Б. - кандидат юридических наук, доцент, Центра научных исследований, e-mail: adilet1979@mail.ru;

Рахметова А. М. - кандидат медицинских наук, доцент, Центр научных исследований, Астана, Казахстан, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Кульмагамбетова Е. А. - кандидат химических наук, Центр научных исследований, Астана, Казахстан, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Алшынбекова Г.К. - кандидат биологических наук, Центр научных исследований, Астана, Казахстан, e-mail: gulnaz_gak@mail.ru;

Сарыбаева И.Е. - магистр экономических наук, Центр научных исследований, Астана, Казахстан, e-mail: inarasaribaeva@gmail.com;

Еркинбекова А.Е. - магистр технических наук, Центр научных исследований, Астана, Казахстан, e-mail: aizada211002@gmail.com.

Марчеллони Р.- магистр, Национальный институт страхования от несчастных случаев на производстве, Рим, Италия, e-mail: r.marcelloni@inail.it.

Ответственный редактор: Әлиасқар А. С.
Верстка: Ундасынов Р. Е.

Подписано в печать: 29.09.2026

Издание: АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», г. Астана,
ул. Кайым Мухамедханова, здание 37 А
Рабочий телефон: +7(7172)72-58-12 (134)
E-mail: mogs@kaztbu.edu.kz