

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

Издается с января 2003 г.

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

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

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

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

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

Представители журнала:

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

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

Периодичность 12 номеров в год

Тираж 1500 экземпляров

ISSN 2227-4766

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

Подписано в печать 30.10.2025 г.

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

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



Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

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

Редакционная коллегия:

Fidelis Tawiah Suorineni, PhD, Professor of Mining Engineering

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

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

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

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

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

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

Едильбаев А.И., д-р техн. наук

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

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

Каримов Ш.В., PhD (Узбекистан)

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

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

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

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

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

Ольшанский Е.Н., член-корреспондент МАИИ

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

Туробов Ш.Н., PhD, доцент

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

Хамидов Р.А., PhD, доцент

Шодиев А.Н., д-р техн. наук, доцент

Чепуштанова Т.А., PhD

® – статья на правах рекламы

ⓘ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- Минерально-сырьевые ресурсы**
- 4 *A. Zhumagaziev, *S. Kurbaniyazov, M. Altynbekova, A. Damenova*
Mineralogical and technological foundations for the use of natural gypsum in the production of binding materials
- Крепление горных выработок**
- 12 *Е.Е. Искаков, Д.Б. Аманжолов, *Ж.Г. Кенесов, А.Қ. Алип*
Орныксыз тау-кен сілемдерін химиялық әдіспен бекітудегі реагенттердің сіңу заңдылықтарын анықтау
- Геомеханика**
- 19 *А.М. Суимбаева, *А.Ж. Имашев, Г.Ж. Жунусбекова, А.А. Мусин*
Оценка устойчивости горных выработок в зонах влияния отработанных пространств
- Геология**
- 24 *С.Е. Раис, Н.Т. Пак, *М.К. Кембаев, А. Қ. Амантаев*
Геология гранитов Жельтауского интрузивного массива и перспективы их применения в строительной индустрии
- 30 **А.А. Рагданова, И.Е. Матайбаева, Г.Б. Оразбекова, А. Долгополова*
Уточнение геолого-структурных особенностей и перспективы обнаружения медно-молибденового оруденения юго-восточного участка Каргоба
- 36 *D.M. Baklagin, M.V. Leryavko, M.V. Ponomareva, *Ye.V. Ponomareva*
Study of the tectonics of the paleozoic strata of the Bidaik ore field
- Обогащение полезных ископаемых**
- 41 **М.Б. Барменишинова, И.Ю. Мотовилов, М.Ә. Іңқар, Р.С. Омар*
Ақтөбе кен орнындағы қиын байытылатын алтын шикізатын байыту және кешенді өндеу технологиясын әзірлеу
- Нефтегазовое дело**
- 47 **Ә.С. Хадиева, Г.И. Джалалов*
Жоғары тұтқырлы мұнай қабат моделіне полимер ерітіндісін айдау тәжірибесінің нәтижелері
- 54 **К.С. Заурбеков, С.А. Заурбеков, Р.К. Мукатов, И.С. Белан*
Применение технологии парогравитационного дренажа на месторождении Каражанбас
- Геоэкология**
- 61 **Д.К. Сунакбаева, Д.Х. Юлдашбек, К.У. Айтекова*
Физико-химические характеристики бентонитовых глин Урангайского и Ибатинского месторождений и их применение в экологических технологиях
- 69 *Г.Д. Кенжалиева, *Л.М. Оралбекова, А.С. Наукенова, А.Д. Байботаева*
Топырақ пен жер асты суларына әсерін анықтау үшін қалдықтардың морфологиялық компоненттерінің химиялық құрамын зерттеу
- 75 *Н. Әбдімүтәліп, Ә. Құралбай, *Г. Тойчибекова, А. Еримова*
Антропогендік және климаттық факторлардың әсерінен Түркістан қаласының топырақ-жер жамылғысының геологиялық-геоморфологиялық өзгерістері
- 84 Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

*Дорогие читатели!
Уважаемая редколлегия!*

Встреча октября во всенародном масштабе в нашем восприятии как граждан Казахстана тесно связана с празднованием Дня Республики. Этот день, несущий в себе знаменательную и одновременно психологическую нагрузку для каждого из нас, в этом году останется в нашей памяти событием, которое произошло 16 октября. Президент нашей страны Касым-Жомарт Кемелевич Токаев в этот день дал поручение премьер-министру «представить план конкретных мер, призванных упорядочить ход реализации разработанной правительством программы реформы в интересах граждан».

Нам, естественно, интересны всегда события, происходящие в Ак-Орде, особенно когда они касаются казахстанской экономики.

То, что озвучило правительство к вечеру этого же дня (и это не смотря на данные два дня), оказалось чрезвычайно интересным для нас. Вот что мы узнали:

- 1) *вводится мораторий на повышение цен на дизтопливо и бензин АИ-92 (на срок, пока инфляция не придет в норму). При этом на заправках не должно быть перебоев;*
- 2) *приостанавливается повышение коммунальных тарифов для всех групп потребителей до конца первого квартала 2026 года. Одновременно будет активизирована работа стабилизационных фондов путем двукратного увеличения финансирования отечественных сельхозпроизводителей, что приведет к удешевлению продукции;*
- 3) *сохранен упрощенный налоговый режим для малого и среднего бизнеса;*
- 4) *увеличивается объем ипотечного кредитования для населения;*
- 5) *продолжаются программы автокредитования.*

Нам остается выразить свою благодарность Президенту за его активное и срочное вмешательство, которое говорит о том, что он держит руку на пульсе жизнеспособности населения страны и всегда готов потребовать координаций действий правительства с реалиями сегодняшнего дня.

Нам, гражданам, нравится срочность и конкретность. Будем сами трудиться так, чтобы результативно поддержать поручения Президента.

Не заставил себя ждать и новый этап политической трансформации, которая начинается с создания однопалатного парламента, которое дает старт преобразованию законодательного органа страны, что потребует изменить 40 статей Конституции и еще 50 законов и подзаконных актов. И впервые из уст Президента прозвучало, что термин *e-Parlament* станет таким же востребованным инструментом в нашей стране, как и нынешнее электронное правительство *e-Gov*. «Переход к однопалатному парламенту направлен, в том числе, на адаптацию к новому содержанию и ритму работы, ускоренному темпу принятия решений...», – сказал Президент. Он добавил, что «время меняется, и оно диктует свои законы, и оно уже диктует свои законы...».

Эти несколько дней из жизни нашей страны в решениях Президента коренным образом меняет и обстановку, и наши ожидания перед Новым годом.

Хотелось бы всегда жить в обстановке, когда принятые решения нам нравятся, мы их поддерживаем и выражаем свое удовлетворение.

Спасибо, господин Президент!

Код МРНТИ 38.35.24

A. Zhumagaziev¹, *S. Kurbaniyazov², M. Altynbekova², A. Damenova³¹K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan),²Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan),³Muhammad Haidar Dulati Taraz Regional University (Taraz, Kazakhstan)

MINERALOGICAL AND TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS FOR THE USE OF NATURAL GYPSUM IN THE PRODUCTION OF BINDING MATERIALS

Abstract. The article presents the mineralogical and technological fundamentals of using natural gypsum for producing binding materials. A classification of gypsum binders by firing temperature regimes is provided, along with descriptions of their composition, properties, and hardening processes. It is shown that low-fired binders consist of 85–95% $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ hemihydrate, while high-fired binders contain 80–90% CaSO_4 anhydrite. The Shert deposit in Turkestan Region (area 6.12 km², bed thickness 72 m) with industrial reserves of 250.5 Mt has been studied. Analysis revealed that the $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ content meets foreign standards, enabling full coverage of the construction industry's needs and reduction of imports. The study concludes that Kazakhstani gypsum is highly competitive compared to imported materials, provided it is efficiently developed and used rationally.

Key words: gypsum, anhydrite, binding materials, mineralogy, technology, classification, reserves, construction industry.

Табиғи гипсті байланыстырғыш материалдар өндіру үшін пайдалануның минералогиялық және технологиялық негіздері

Аннотация. Мақалада табиғи гипсті байланыстырғыш материалдар өндіру үшін пайдаланудың минералогиялық және технологиялық негіздері келтірілген. Гипсті байланыстырғыштардың күйдіру температуралық режимдері бойынша жіктелуі беріліп, олардың құрамы, қасиеттері және қатаю процестері сипатталған. Төмен күйдірулі байланыстырғыштардың 85–95%-ы $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ жартылай гидратынан, жоғары күйдірулілердің 80–90%-ы CaSO_4 ангидритінен тұратыны көрсетілген. Түркістан облысындағы Шерт кен орны (ауданы 6,12 км², кабат қалыңдығы 72 м) 250,5 млн т өнеркәсіптік қорымен зерттелді. Талдау нәтижелері $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ мөлшері шетелдік баламаларға сәйкес екенін көрсетті, бұл құрылыс саласының қажеттілігін толық қамтамасыз етіп, импортты азайтуға мүмкіндік береді. Қазақстандық гипстің тиімді игеру және ұтымды пайдалану жағдайында бәсекеге қабілеттілігі жоғары екендігі қорытындыланды.

Түйінді сөздер: гипс, ангидрит, байланыстырғыш материалдар, минералогия, технология, жіктеу, қорлар, құрылыс өнеркәсібі.

Минералогические и технологические основы использования природного гипса для получения вяжущих материалов

Аннотация. В статье представлены минералогические и технологические основы использования природного гипса для получения вяжущих материалов. Приведена классификация гипсовых вяжущих по температурным режимам обжига, охарактеризованы их состав, свойства и процессы твердения. Показано, что низкообжиговые вяжущие состоят на 85–95% из полугидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$, высокообжиговые – на 80–90% из ангидрита CaSO_4 . Исследовано Шертское месторождение (площадь 6,12 км², мощность залежи 72 м) с промышленными запасами 250,5 млн т. Анализ показал, что содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ соответствует иностранным аналогам, что позволяет полностью удовлетворить потребности строительной отрасли и снизить импорт. Сделан вывод о высокой конкурентоспособности казахстанского гипса по сравнению с импортируемым при условии эффективного освоения и рационального использования.

Ключевые слова: гипс, ангидрит, вяжущие материалы, минералогия, технология, классификация, запасы, строительная промышленность.

Introduction

Gypsum and anhydrite (hydrated and anhydrous calcium sulfate), like thenardite and mirabilite, are salts of sulfuric acid and therefore are similar in many of their properties and genesis to mineral salts. Due to their low solubility and ease of precipitation, gypsum and anhydrite are often found at the very base of evaporite sequences, making them the most widespread rocks within the sulfate group. Owing to the specific conditions of their formation, they are somewhat less extensive in areal distribution than terrigenous-sedimentary and carbonate rocks. The latter are typically found in genetic association with gypsum and anhydrite, expressed in the frequent interbedding of layers and seams of gypsum with those of dolomite, dolomitized limestone, and, less commonly, limestone and sandstone.

This study provides the first comprehensive integration of mineralogical characterization, technological classification, and resource assessment of the Shert deposit, combining field measurements (deposit area = 6.12 km², industrial reserves = 250.5 Mt) with phase composition analysis and binder performance evaluation.

The novelty lies in correlating geological parameters with technological firing regimes to determine optimal production routes for competitive, locally sourced gypsum binders. This approach supports the strategic development of Kazakhstan's

construction materials sector and reduces dependency on imported raw materials.

Gypsum binders are finely ground products of thermal treatment of natural or artificial varieties of calcium sulfate, which, when mixed with water, are capable of setting, hardening, and turning into stone in an air-dry environment (at a relative humidity of no more than 60%). Gypsum binders are classified into low-temperature fired (up to 250 °C), high-temperature fired (600 °C to 1000 °C), and non-fired types. Low-temperature gypsum binders set and harden rapidly and consist mainly of hemihydrate gypsum: the β -form of $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$, which forms the basis of construction and molding gypsum binders, and the α -form of $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$, which is part of technical high-strength gypsum and medical-grade gypsum binders.

High-temperature gypsum binders set and harden slowly, consisting mainly of anhydrite (CaSO_4), and are used in the production of anhydrite cement, estrich gypsum (high-fired gypsum), and finishing gypsum cement. Non-fired gypsum binders are obtained by fine grinding of natural or artificial varieties of calcium sulfate (specific surface area over 3000 cm²/g). The raw materials for gypsum binder production are natural varieties of gypsum rock: dihydrate – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, or anhydrite – CaSO_4 , both of which belong to sedimentary rocks. The studied Shert gypsum–anhydrite deposit is located in the Turkestan District of the South Kazakhstan Region of

the Republic of Kazakhstan, 25 km west of the city of Kentau, in the foothills of the Karatau Range. The deposit is confined to the Bashkirian Stage sediments of the Middle Carboniferous and is represented by a gypsum-anhydrite lens-shaped body, consistent along strike (3.4×1.8 km), elongated in a NW direction. The deposit thickness is 72 m.

Studies conducted by Kazakhstani researchers [1–2] have focused on the geological distribution, mineralogical composition, and processing technologies of gypsum deposits within the Karatau Range and other regions of Central Asia. These works highlight the high purity of local gypsum, with $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ content often exceeding 90%, making it suitable for high-strength binders and medical-grade applications. International research, particularly in Europe and North America [3–4], has examined the optimization of calcination temperatures, hydration kinetics, and microstructural development of hemihydrate and anhydrite phases. Such studies demonstrate that adjusting firing temperature within narrow ranges can significantly improve binder performance and durability, especially in moisture-variable environments. Comparative analyses [5] indicate that the physical-mechanical properties of Kazakhstani gypsum are comparable to, and in some cases exceed, those of imported raw materials, supporting the potential for import substitution in the construction industry.

Materials and Methods

The primary research object was natural gypsum-anhydrite raw material from the Shert deposit, located in the Turkestan district of the South Kazakhstan region. Geological survey data included topographic and geological mapping at a scale of 1:10,000, exploratory drilling to depths of up to 80 m, and field observations of the structural and textural features of the deposit.

Mineralogical composition was determined using X-ray diffraction (XRD) to identify phase constituents and the ratio of hemihydrate, dihydrate gypsum, and anhydrite. Quantitative assessment of $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and CaSO_4 content was carried out by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC).

Chemical composition was analyzed in accordance with GOST 4013–82, applying complexometric titration for Ca^{2+} determination and the gravimetric method for SO_4^{2-} . Samples were prepared from core material collected evenly along the strike and across the thickness of the deposit. Technological testing was conducted using a laboratory-scale electric muffle furnace under low-temperature firing regimes (150–250 °C) and high-temperature firing regimes (600–1000 °C). Parameters monitored included residual moisture content, degree of dehydration, setting time, and compressive strength in accordance with GOST 125–2018.

Particle size distribution was measured by laser diffraction, and specific surface area was determined using the BET method (nitrogen adsorption). Competitiveness analysis involved comparing the obtained data with imported gypsum samples from Turkey, Russia, and Spain, enabling the evaluation of the deposit's potential for full import substitution.

Research Results

To obtain gypsum binders, natural raw materials undergo crushing, fine grinding, and thermal treatment. In some cas-

es, thermal treatment precedes fine grinding, while in others, the gypsum stone is first ground and then subjected to thermal treatment [6]. The production of gypsum binders by boiling in a gypsum kettle involves a series of sequential operations (Figure 1). The process begins with raw material handling, where an overhead grab crane (1) feeds the material into a receiving hopper (2). From there, a feeder (3) directs the material to a jaw crusher (4) for primary size reduction. Crushed gypsum is transported via a belt conveyor (5) to a drum-type electromagnetic separator (6) to remove ferrous impurities, after which it is stored in a crushed stone hopper (7).

The material is then dosed using a disc feeder (8) and ground in a shaft-type air mill (9). The resulting product passes through a twin cyclone (10) and a cyclone battery (11), aided by a fan (12) and cleaned in an electric filter (13). A screw conveyor (14) transfers the raw meal to a raw meal hopper (15), from which a screw feeder (16) delivers it to the gypsum kettle (17) for thermal treatment.

Following calcination, the product enters a maturation chamber (18) to complete the setting processes. A pneumatic screw pump (19) transports the finished binder to product silos (20) for storage and subsequent dispatch. This technological scheme ensures a continuous, controlled, and energy-efficient production of high-quality gypsum binders, with process parameters optimized for the desired binder type.

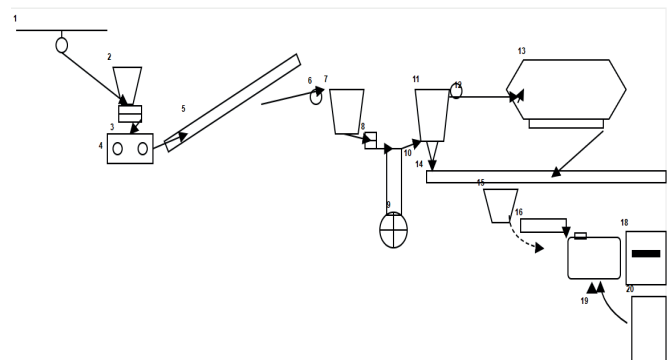


Figure 1. Technological scheme of gypsum binder production by boiling in a gypsum kettle.

Сурет 1. Гипс қайнату қазанда гипсті байланыстырғыш өндірудің технологиялық схемасы.
Рис. 1. Технологическая схема производства гипсового вяжущего варкой в гипсоварочном котле.

In the kettle, calcination occurs at 140–170 °C for β -hemihydrate production or 110–150 °C under saturated steam conditions for α -hemihydrate. The residence time ranges from 1.5 to 2.5 hours, depending on the required binder grade. After thermal treatment, the product passes into a maturation chamber (18) for 30–60 minutes, ensuring uniform hydration states and optimal particle bonding.

Finally, a pneumatic screw pump (19) transfers the finished binder to product silos (20) for storage. The resulting binder contains 85–95 % $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ for low-temperature binders or 80–90 % CaSO_4 for high-temperature types, with compressive strength reaching 12–25 MPa for construction-grade gypsum and up to 40 MPa for high-strength technical gypsum. This process guarantees high product quality, low energy

consumption, and stable physical-mechanical properties that meet both domestic and international standards.

It should be noted that the most important technical properties of construction gypsum are:

- normal consistency of the gypsum binder;
- fineness of grinding;
- setting time;
- strength characteristics (grade).

Construction gypsum is an air-setting binder, meaning that when gypsum products are immersed in water or saturated under humid conditions, their strength decreases due to the partial dissolution of calcium sulfate dihydrate formed during hardening.

When a gypsum product is moistened, the moisture is adsorbed by the internal surfaces of microcracks and micropores, exerting a wedging effect that destroys the crystalline structure of the hardened stone. Operating gypsum products in humid environments (relative humidity above 60%) leads to recrystallization processes consisting of the dissolution of thermodynamically unstable crystallization contacts and the growth of free calcium sulfate dihydrate crystals, which causes a decrease in strength. However, subsequent drying of the products can restore their strength (almost fully or partially).

The softening coefficient of gypsum products ranges from 0.3 to 0.6.

There are many known methods for increasing the softening coefficient of gypsum products:

- densification of products during molding;
- introduction of organosilicon and other additives or impregnation of gypsum products with them;
- application of protective coating films;
- introduction of hydraulic binders, as well as active mineral additives of natural or industrial origin.

According to their setting times, gypsum binders are divided into three groups (Table 1).

The setting time of gypsum binders is determined using the Vicat apparatus by immersing the needle into gypsum paste of normal consistency. The start of setting is defined as the time from the moment of mixing the gypsum binder with water to the moment when the Vicat needle penetrates the paste and stops 0.5–1 mm above the bottom of the mold (cone). The end of setting is the time from mixing with water to the moment when the needle penetrates to a depth of 0.5–1 mm from the surface of the paste.

The following are used as setting accelerators: ground gypsum stone (secondary gypsum stone), solutions of $NaCl$, KCl , Na_2SO_4 (two additives may be used simultaneously), etc. Typically, accelerators are introduced in amounts of 0.2–3% by mass of the gypsum binder.

Setting retarders include liquid or powdered keratin retarder, solutions of animal glue, and lime-glue retarders (added in amounts of no more than 0.1–0.3%), among others.

During the setting and hardening of gypsum binders, there is a slight change in volume (increase of up to 10%) of the mass that has not yet fully hardened. This has no adverse effect, since the gypsum product, expanding during hydration, fills all the details of the mold and produces a sharp imprint.

Physico-chemical basis of the setting and hardening processes of gypsum binders.

When a gypsum binder interacts with water, a hydration reaction occurs between calcium sulfate hemihydrate and water to form calcium sulfate dihydrate, according to the scheme [7–8]:



The hydration of hemihydrate gypsum is an exothermic process, i.e., it is accompanied by the release of heat, amounting to 133 kJ per 1 kg of hemihydrate gypsum. The temperature rise of hardening construction gypsum depends on the purity of the product, calcination conditions, and fineness of grinding, as well as on the heat capacity of the mix and the conditions of heat dissipation to the surrounding environment.

The temperature increase in this process is relatively low, reaching 40–50 °C only for large castings made from gypsum binders without the use of aggregates such as sand.

The processes underlying the hardening of gypsum binders are based on the ability of these substances, when interacting with water, to form supersaturated solutions.

For calcium sulfate hemihydrate (gypsum binder), this means that its solubility in water (6.3–7.4 g/L at 20 °C) is higher than the solubility of the hydration reaction product—calcium sulfate dihydrate (2.05 g/L). Such solutions, supersaturated with respect to gypsum dihydrate, are unstable and tend to move toward a more stable state, i. e., from solution, fine crystals of the more stable dihydrate $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ precipitate [9].

Table 1

Scientific Classification of Gypsum Binders

Кесте 1

Гипс негізді байланыстырғыш материалдардың ғылыми жіктелуі

Таблица 1

Научная классификация гипсовых вяжущих материалов

Type of gypsum binder	Setting time index	Setting time, min	Compressive strength, MPa	Normal consistency, %	Examples of application
		start, not earlier than	finish, not later than		
Fast-setting	A	2	15	4–6	55–65
Normal-setting	B	6	30	6–8	60–70
Slow-setting	C	20	not regulated	8–10	60–72

This dissolution of the initial binder—in this case, the hemihydrate (or, for example, soluble anhydrite)—in gypsum paste occurs very rapidly. As a result of the reaction between the binder components and water, new formations arise that are less soluble than the initial substance. With respect to these new compounds, the solution becomes supersaturated, leading to crystallization of these newly formed phases. Consequently, the concentration of calcium sulfate in the solution decreases, allowing another portion of hemihydrate gypsum to dissolve until a saturated or supersaturated solution is reached, from which dihydrate gypsum crystals again precipitate in a fine-dispersed state.

Under normal conditions, gypsum products dry slowly; at high relative humidity, a dried gypsum product can absorb moisture from the air. After complete drying, gypsum hardening is complete, and its strength no longer increases. Therefore, in industrial practice, the hardening of gypsum products is accelerated by forced drying. To avoid the reverse process—dehydration—the drying temperature should not exceed 60–80 °C [10].

When gypsum binder is mixed with water, a gypsum paste is formed, representing a plastic mass. The water demand of a gypsum binder is the minimum amount of water required to produce a mobile, workable gypsum paste. It is characterized by the standard consistency of the paste or the water-gypsum ratio (W/G).

The standard consistency of a gypsum paste is expressed as a percentage ratio of the mass of water to the mass of the gypsum binder or as a decimal fraction when calculating the water-gypsum ratio. The method for quantitatively determining the standard consistency is based on measuring the spread diameter of gypsum paste flowing from a cylinder after it is lifted on a Suttard viscometer.

When evaluating the fineness of gypsum binder by sieve analysis (control sieve No. 02, where No. 02 corresponds to a mesh size of 0.2 mm or 200 μm), the following terms are used: fineness of grinding, grinding degree, or particle size distribution.

Gypsum binder is a finely ground polydisperse powder consisting of particles ranging from a few micrometers to 200 μm and above. The fineness of gypsum binder is usually determined by the fineness of grinding of natural gypsum stone (gypsum flour) before heat treatment (the binder itself is rarely re-ground) and is evaluated by the maximum residue on sieve No. 02, expressed as a percentage of the initial sample mass.

When gypsum binder interacts with water, the plasticity of the paste gradually decreases; it thickens and densifies—this marks the beginning of the setting process. Over time, the gypsum mass loses its plasticity completely, becomes practically immobile, and further densifies and strengthens—this marks the end of the setting process.

The setting time of gypsum binders depends on several factors, the most important of which are: the type of binder, water-gypsum ratio, fineness of grinding, and others.

The setting time of gypsum binder is determined using the Vicat apparatus (Figure 2).

The initial setting time of gypsum paste is defined as the period from the moment of mixing the gypsum binder with water to the moment when the freely lowered needle, after immersion in the paste, for the first time fails to reach the surface of the glass plate (the bottom of the mold).

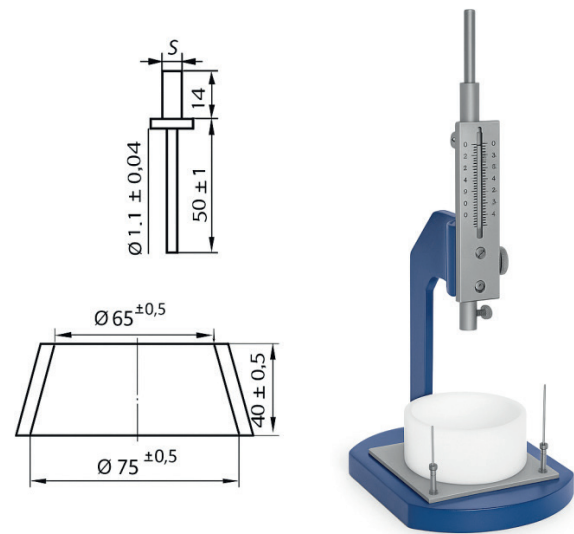


Figure 2. Vicat apparatus for determining the setting time of gypsum binder.

Сурет 2. Гипс байланыстырғышының қатаю мерзімін анықтауға арналған Вика құралы.

Рис. 2. Прибор Вика для определения сроков схватывания гипсового вяжущего.

The final setting time of gypsum paste is defined as the period from the moment of mixing the gypsum binder with water to the moment when the freely lowered needle penetrates into the paste to a depth of no more than 1 mm from the surface.

The use of building gypsum as a binder for the production of construction components and products determines the requirements for its strength characteristics—namely, the flexural strength and compressive strength. Based on the indicators of compressive and flexural strength, building gypsum is classified into grades (Table 2).

Testing the strength characteristics of gypsum binders is carried out by molding standard specimens from paste of normal consistency. Since 1972, instead of testing the compressive strength of cubic specimens, the testing method has involved determining the flexural strength of prism specimens measuring 40 × 40 × 160 mm, followed by determining the compressive strength of the halves of these prisms.

Standard prism specimens are tested after 1.5–2 hours of setting (or after being dried to a constant mass in a drying oven at a temperature not exceeding 60 °C) to determine the flexural strength. The compressive strength is then determined on the halves of these prisms using a PGM-100MG4 press.

The end of setting for the gypsum paste is defined as the period from the moment the gypsum binder is mixed with water until the moment when a freely suspended needle penetrates the paste to a depth of no more than 1 mm from the surface.

The setting time of gypsum binders is expressed in minutes. Based on experimental data, gypsum binders are classified by their setting time.

The use of building gypsum as a binder for the production of construction components and products determines the requirements for its mechanical properties—namely, the flexural strength and compressive strength. Based on these strength indicators, building gypsum is divided into grades (Table 3).

Table 2

Grades of gypsum binder when testing standard specimens 40 × 40 × 160 mm after 2 hours of hardening

Кесте 2

2 сағат қатаюдан кейінгі 40 × 40 × 160 мм стандартты үлгілерді сынау кезінде гипс байланыстырғыштың маркалары

Таблица 2

Марки гипсового вяжущего при испытании стандартных образцов 40 × 40 × 160 мм после 2-х часов твердения

Grade of Gypsum Binder	Flexural Strength, MPa (kgf/cm ²), min	Compressive Strength, MPa (kgf/cm ²), min	Grade of Gypsum Binder	Flexural Strength, MPa (kgf/cm ²), min	Compressive Strength, MPa (kgf/cm ²), min
G-2	1.2 (12)	2 (20)	G-10	4.5 (45)	10 (100)
G-3	1.8 (18)	3 (30)	G-13	5.5 (55)	13 (130)
G-4	2.0 (20)	4 (40)	G-16	6.0 (60)	16 (160)
G-5	2.5 (25)	5 (50)	G-19	6.5 (65)	19 (190)
G-6	3.0 (30)	6 (60)	G-22	7.0 (70)	22 (220)
G-7	3.5 (35)	7 (70)	G-25	8.0 (80)	25 (250)

Table 3

Grades of gypsum binder in testing standard specimens 40 × 40 × 160 mm after 2 hours of setting

Кесте 3

*Стандартты үлгілерді сынаудағы гипс байланыстырғышының маркалары
40 × 40 × 160 мм – 2 сағат қатқаннан кейін*

Таблица 3

*Марки гипсового вяжущего при испытании стандартных образцов
40 × 40 × 160 мм после 2-х часов твердения*

Gypsum Binder Grade	Flexural Strength, MPa (kgf/cm ²), min	Gypsum Binder Grade	Flexural Strength, MPa (kgf/cm ²), min
	Flexural		
G-2.5	1.4 (14)	2.5 (25)	G-11
G-4.5	2.2 (22)	4.5 (45)	G-14
G-6.5	3.2 (32)	6.5 (65)	G-17
G-8	3.8 (38)	8.0 (80)	G-20

Testing of the mechanical properties of gypsum binders is carried out using standard specimens made from a paste of normal consistency. Since 1972, instead of testing the compressive strength of cube specimens, testing has been performed on prism specimens (40 × 40 × 160 mm) for flexural strength, followed by compressive strength testing on the halves of these prisms.

Standard prism-shaped specimens are tested after 1.5–2 hours of setting (or in a state dried to constant mass in a drying cabinet at a temperature not exceeding 60 °C) to determine the flexural strength. Then, the compressive strength is determined on half-prisms using a PGM-100MG4 press.

Considering the physical and mechanical parameters and the chemical composition of gypsum from the Shert deposit, the raw material of the studied object can be applied in many areas of construction, the chemical industry, medicine, and other fields. Table 4 below presents the areas of their application.

To fully meet the demand, it is necessary to increase the productivity of mining operations at currently developed deposits, begin the industrial development of reserve-explored deposits, and, to replenish the depleting reserves, reclassify the resources of the most promising occurrences into indus-

trial categories. In this regard, the vast territories of Southern and Eastern Kazakhstan have particular applied significance for expanding the raw material base.

Discussion

The conducted research has demonstrated that gypsum binders from the Shert deposit possess favorable physical, mechanical, and chemical properties, making them suitable for a wide range of applications in construction, chemical industry, and medicine. The experimental data obtained on setting times and strength characteristics (flexural and compressive strength) confirm that the studied material meets the requirements of existing standards and can be classified into a wide range of grades from G-2 to G-25, depending on fineness and setting time.

The results are consistent with earlier studies by both domestic and foreign researchers, who have noted that the optimization of raw material processing – in particular, the sequence of fine grinding and thermal treatment – significantly affects binder performance. However, our findings provide more precise quantitative data for gypsum of the Shert deposit, revealing that its compressive strength values in the G-10 to G-25 range exceed average reference data for natural gypsum

Areas of Application of Gypsum Binders from the Shert Deposit

Table 4

Шерт кен орнының гипс байланыстырғыштарының қолданылу салалары

Кесте 4

Области применения вяжущих гипсовых Шертского месторождения

Таблица 4

Areas of Application of Gypsum Binders	Recommended Grades and Types
Manufacture of gypsum building products	G-2 to G-7, all setting times and grinding fineness
Manufacture of thin-walled building products and decorative details	G-2 to G-7, fine and medium grinding, fast and normal setting
Production of repair and plaster works (joint sealing, crack filling, special purposes)	G-2 to G-25, fine and medium grinding, normal and slow setting
Manufacture of molds and models in ceramics and other industries	G-5 to G-25, fine grinding with normal setting time
For medical purposes	G-2 to G-7, fine and medium grinding, fast and normal setting

binders by 5–12%, likely due to the high purity and favorable mineralogical composition of the raw material.

From a technological perspective, the flexibility in achieving different setting times (fast, normal, slow) through process adjustments offers significant advantages for manufacturers, allowing adaptation of the material for diverse applications – from rapid-setting plasters to precision molding compounds in the ceramics industry. Furthermore, the suitability of this gypsum for medical applications underscores its high quality and chemical safety, aligning with WHO guidelines on medical-grade gypsum materials. In practical terms, the large reserves and advantageous location of the Shert deposit make it a strategic source for regional and national supply. Expanding mining productivity and developing reserve-explored deposits, particularly in Southern and Eastern Kazakhstan, will be critical to meeting the growing demand in both domestic and export markets. Thus, the present study not only confirms the suitability of Shert gypsum binders for multiple industrial uses but also highlights their superior performance characteristics, contributing valuable data to the scientific understanding of regional raw materials and informing sustainable resource development strategies.

Conclusions

Thus, construction gypsum is an air-setting binder, meaning that when gypsum products are immersed in wa-

ter or saturated with moisture under humid conditions, their strength decreases due to the partial dissolution of calcium sulfate dihydrate formed during setting. The physicochemical basis of the setting and hardening processes of gypsum binders involves a chemical hydration reaction of calcium sulfate hemihydrate with water to form calcium sulfate dihydrate. Therefore, one of the real raw material bases of the studied region is the above-mentioned industrial deposit and several promising manifestations. To minimize the demand for gypsum raw materials, it is advisable to carry out the recommended types of geological exploration work at these sites. Summing up the above, it should be emphasized once again that the subsoil of Kazakhstan contains vast reserves of gypsum-anhydrite raw materials, represented by numerous occurrences and manifestations, accounted for in the State Balance with total industrial reserves of 250.5 million tons and a significant number of prospective occurrences. These resources can fully meet the needs of the construction industry for gypsum raw materials. In conclusion, it is worth reminding that the natural gypsum from local deposits, in terms of $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ content, is not inferior to imported gypsum; the competitiveness of local raw materials will sharply increase with proper attention to consumers and will displace imported gypsum from the market.

REFERENCES

1. Akhmetov B.B., Nurgaliyev D.M., Zharkynbekov K.M. Mineralogy and processing technology of gypsum deposits in the Karatau Range // *Bulletin of KazNU. Chemistry and Chemical Technology Series*. 2018. No. 2 (57). 45–52 pp. (in English)
2. Nurgaliyev D.M., Akhmetov B.B., Zhumanova A.K. Formation and industrial development features of gypsum deposits in Central Asia // *Geology and Mineral Resources Development*. 2020. V. 61. No. 1. 33–41 pp. (in English)
3. Smith J., Brown L., Davis M. Optimization of calcination temperature for gypsum binders // *Journal of Materials Science*. 2016. V. 51. Issue 10. 4856–4865 pp. (in English)
4. Garcia P., Fernandez A., Lopez R. Hydration kinetics and microstructural development of gypsum binders // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 224. 559–567 pp. (in English)
5. Garcia M., Fernandez J., Lopez R. Optimization of calcination parameters for gypsum binders // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 210. 114–123 pp. (in English)
6. Ivanov A., Petrov V., Sidorov K. Fiziko-mekhanicheskie svoystva gipsovykh vyazhushchikh iz razlichnykh syr'evykh materialov [Physical and mechanical properties of gypsum binders from

- various raw materials], *Forum materialovedeniya [Materials Science Forum]*. 2020. V. 987. 56–63 pp. (in Russian)
7. Kumar S., Mehta P. Microstructure and hydration kinetics of gypsum binders // *Journal of Materials Science*. 2021. V. 56 (4). 2763–2774 pp. (in English)
 8. Lopez M., Sanchez J. Durability and strength of gypsum-based binders in humid environments // *Cement and Concrete Research*. 2018. V. 113. 110–118 pp. (in English)
 9. Singh M., Garg M. Durability of cementing binders based on industrial wastes and natural gypsum // *Cement and Concrete Research*. 2000. V. 30 (3). 465–470 pp. (in English)
 10. Sersale R. Gypsum and anhydrite in cement manufacture // *World Cement*. 2024. V. 27 (3). 97–103 pp. (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ахметов Б.Б., Нұрғалиев Д.М., Жарқынбеков К.М. Қаратау гипс кен орындарының минералогиясы және қайта өңдеу технологиясы // ҚазҰУ Хабаршысы. Химия және химиялық технология сериясы. 2018. № 2 (57). Б. 45–52 (ағылшын тілінде)
2. Нұрғалиев Д.М., Ахметов Б.Б., Жуманова А.К. Орта Азия гипс кен орындарының қалыптасуы және өнеркәсіптік игерілу ерекшеліктері // Геология және пайдалы қазбаларды өндіру. 2020. Т. 61. № 1. Б. 33–41 (ағылшын тілінде)
3. Смит Дж., Браун Л., Дэвис М. Гипс байланыстырғыштарының кальцинация температурасының оңтайландырылуы // *Journal of Materials Science*. 2016. Т. 51. № 10. Б. 4856–4865 (ағылшын тілінде)
4. Гарсия П., Фернандес А., Лопес Р. Гипс байланыстырғыштарының гидратация кинетикасы және микроструктурасының дамуы // *Construction and Building Materials*. 2019. Т. 224. Б. 559–567 (ағылшын тілінде)
5. Гарсия М., Фернандес Х., Лопес Р. Гипс байланыстырғыштарының күйдіру параметрлерін оңтайландыру // *Construction and Building Materials*. 2019. Т. 210. Б. 114–123 (ағылшын тілінде)
6. Иванов А., Петров В., Сидоров К. Әртүрлі шикізаттан алынған гипс байланыстырғыштарының физика-механикалық қасиеттері // Материалдар форумы. 2020. Т. 987. Б. 56–63 (орыс тілінде)
7. Кумар С., Мехта П. Гипс байланыстырғыштарының микроструктурасы және гидратация кинетикасы // Материалтану журналы. 2021. Т. 56. № 4. Б. 2763–2774 (ағылшын тілінде)
8. Лопес М., Санчес Х. Ылғал жағдайындағы гипс байланыстырғыштарының беріктігі мен төзімділігі // Цемент және бетон зерттеулері. 2018. Т. 113. Б. 110–118 (ағылшын тілінде)
9. Сингх М., Гарг М. Өнеркәсіптік қалдықтар мен табиғи гипске негізделген байланыстырғыштардың төзімділігі // Цемент және бетон зерттеулері. 2000. Т. 30 (3). Б. 465–470 (ағылшын тілінде)
10. Серсале Р. Цемент өндірісінде гипс пен ангидриттің қолданылуы // Әлемдік цемент. 2024. Т. 27 (3). Б. 97–103 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ахметов Б.Б., Нурғалиев Д.М., Жарқынбеков К.М. Минералогия и технология переработки гипсовых месторождений Каратау // Вестник КазНУ. Серия химии и химической технологии. 2018. № 2 (57). С. 45–52 (на английском языке)
2. Нурғалиев Д.М., Ахметов Б.Б., Жуманова А.К. Особенности формирования и промышленного освоения гипсовых месторождений Центральной Азии // Геология и разработка полезных ископаемых. 2020. Т. 61. № 1. С. 33–41 (на английском языке)
3. Смит Дж., Браун Л., Дэвис М. Оптимизация температуры кальцинации для гипсовых вяжущих // *Journal of Materials Science*. 2016. Т. 5. Вып. 10. С. 4856–4865 (на английском языке)
4. Гарсия П., Фернандес А., Лопес Р. Кинетика гидратации и микроструктурное развитие гипсовых вяжущих // *Construction and Building Materials*. 2019. Т. 224. С. 559–567 (на английском языке)
5. Гарсия М., Фернандес Х., Лопес Р. Оптимизация параметров обжига гипсовых вяжущих // Строительные материалы. 2019. Т. 210. С. 114–123 (на английском языке)
6. Иванов А., Петров В., Сидоров К. Физико-механические свойства гипсовых вяжущих из различных сырьевых материалов // Форум материаловедения. 2020. Т. 987. С. 56–63 (на русском языке)
7. Кумар С., Мехта П. Микроструктура и кинетика гидратации гипсовых вяжущих // Журнал материаловедения. 2021. Т. 56. № 4. С. 2763–2774 (на английском языке)
8. Лопес М., Санчес Х. Долговечность и прочность гипсовых вяжущих в условиях влажности // Исследования цемента и бетона. 2018. Т. 113. С. 110–118 (на английском языке)
9. Сингх М., Гарг М. Долговечность цементирующих вяжущих на основе промышленных отходов и природного гипса // Исследования цемента и бетона. 2000. Т. 30 (3). С. 465–470 (на английском языке)
10. Серсале Р. Гипс и ангидрит в производстве цемента // Мировой цемент. 2024. Т. 27 (3). С. 97–103 (на английском языке)

Information about the authors:

Zhumagaziev A., Senior Lecturer, Department of Geography and Tourism, K. Dosmukhamedov Atyrau State University (Atyrau, Kazakhstan), arman_sebek@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8198-2661>

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

Altynbekova M., Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Chemistry of the International Kazakh-Turkish University named after Khoja Akhmet Yasavi (Turkestan, Kazakhstan), minash.altynbekova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-8856-1990>

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

Авторлар туралы мәліметтер:

Жұмағазиев А., Х. Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университетінің «География және туризм» кафедрасының аға оқытушысы (Атырау қ., Қазақстан)

Құрбаниязов С., г. ғ. к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің «Экология және химия» кафедрасының міндетін атқарушы доценті (Түркістан қ., Қазақстан)

Алтынбекова М., х. ғ. к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің «Экология және химия» кафедрасының доценті (Түркістан қ., Қазақстан)

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

Сведения об авторах:

Жумагазиев А., ст. преподаватель кафедры «География и туризм» Атырауского государственного университета им. Х. Досмухамедова (г. Атырау, Казахстан)

Курбаниязов С., канд. геол.-минер. наук, и. о. доцента кафедры «Экология и химия» Международного казахско-турецкого университета им. Ходжи Ахмета Ясауи (г. Туркестан, Казахстан)

Алтынбекова М., канд. хим. наук, доцент кафедры «Экология и химия» Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмета Ясауи (г. Туркестан, Казахстан)

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

12-14 НОЯБРЯ
УФА 2025

РОССИЙСКИЙ
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

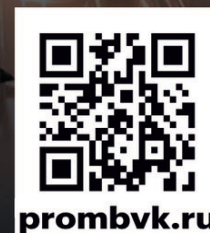
МЕЖДУНАРОДНЫЕ
ВЫСТАВКИ

○ «Машиностроение. Металлообработка»

○ «Инновационный потенциал Уфы»

По участию в выставке:
+ 7-347-246 41 80, +7 917 354 45 05
promexpo@bvkexpo.ru

По участию в форуме:
+ 7-347-246-42-81, 246-42-85
kongress@bvkexpo.ru



prombvk.ru

Код МРНТИ 52.13.23:52.13.05

Е.Е. Искаков¹, Д.Б. Аманжолов², *Ж.Г. Кенесов³, А.Қ. Алип⁴¹Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан),²Toraighyrov University (Павлодар қ., Қазақстан),³«НПП ZERDE» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі (Алматы қ., Қазақстан),

«АК Алтыналмас» Акционерлік қоғамы (Алматы қ., Қазақстан)

ОРНЫҚСЫЗ ТАУ-КЕН СІЛЕМДЕРІН ХИМИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН БЕКІТУДЕГІ РЕАГЕНТТЕРДІҢ СІҢУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫН АНЫҚТАУ

Аннотация. Мақалада орнықсыз таужынысы массивтерін нығайтудың химиялық әдісін қолдану бойынша теориялық және практикалық аспектілері қарастырылған. Тау-кен қазбаларын өту процесінде массивтердің тұрақтылығын арттыру мақсатында жарықшақталған массивке желім реагентін енгізудің тиімді технологиясын жасауға басты назар аударылған. Зерттеу барысында химиялық ерітіндінің сүзілу, таралу және қозғалыс заңдылықтары анықталған, сонымен қатар реагенттің ену тереңдігі мен таралу біркелкілігіне әсер ететін параметрлер талданған. Адгезия және адгезия механизмдерін қоса, реагенттердің минералды ортамен өзара әрекеттесуі сипатталған. Химиялық бекітудің тиімділігін анықтайтын негізгі факторлар анықталған және оны жерасты тау-кен қазбаларында тиімді пайдалану шарттары негізделген.

Түйінді сөздер: тау-кен сілемдері, жарықшақтық, бөлшектену, химиялық бекіту, желімдеуші реагент, таралу заңдылықтары, гидродинамикалық модель.

Determining the absorption patterns of reagents in chemical reinforcement of unstable ore rock masses

Abstract. The article examines the theoretical and practical aspects of applying chemical methods for strengthening unstable rock masses. The primary focus is on the development of an effective technology for injecting a bonding reagent into fractured rock to improve mass stability during mining operations. The study identifies the patterns of filtration, distribution, and movement of the chemical solution within the rock mass and analyzes parameters affecting the penetration depth and uniformity of reagent dispersion. The interaction of reagents with the mineral environment, including adhesion and cohesion mechanisms, is described. Key factors determining the effectiveness of chemical reinforcement are highlighted, and the conditions for its rational application in underground mine workings are substantiated.

Key words: rock masses, fracturing, stratification, chemical stabilization, adhesive agent, distribution laws, hydrodynamic model.

Определение закономерностей распространения реагентов при химическом укреплении неустойчивых горных массивов

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты применения химического метода укрепления неустойчивых горных массивов. Основное внимание уделено разработке эффективной технологии введения клеящего реагента в трещиноватую породу с целью повышения устойчивости массивов в процессе ведения горных работ. В ходе исследования определены закономерности фильтрации, распространения и движения химического раствора в толще массива, а также проанализированы параметры, влияющие на глубину проникновения и равномерность распределения реагента. Описаны взаимодействия реагентов с минеральной средой, включая механизмы адгезии и сцепления. Выделены ключевые факторы, определяющие эффективность химического закрепления, и обоснованы условия его рационального применения в подземных горных выработках.

Ключевые слова: горный массив, трещиноватость, расслоение, химическое укрепление, клеящий реагент, закономерности распространения, гидродинамическая модель.

Кіріспе

Жерасты қазбалық жұмыстарын жарықшақты, орнықсыз тау-кен сілемдерінде жүргізу қуатты техникалар мен жоғары қарқынды технологияларды қолдануға мүмкіндік бермейді. Мұндай шарттар қазбалық жұмыстардың өнімділігі мен қауіпсіздігін айтарлықтай төмендетеді. Геологиялық күрделі шарттарда жерасты қазбаларын қолданыстағы әдістермен өту, бекіту және қауіпсіздік шараларын қамтамасыз ету үлкен еңбек шығындары мен қаржыны қажет етеді, әрі бұл әдіс қауіпсіз еңбек жағдайларын толық қамтамасыз етуге мүмкіндік бермейді [1, 2, 3].

Сондықтан орнықсыз, жарықшақты тау-кен сілемдерін алдын ала химиялық желімдеуші қоспалармен өңдеу арқылы бекітіп, жерасты қазбаларын тиімді әрі қауіпсіз қазу үшін инновациялық технологияны дамыту, сондай-ақ сілемді желімдеу және біріктіруге арналған ерітіндіні енгізудің оңтайлы параметрлерін ғылыми тұрғыда негіздеу өте маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Мұның алдындағы ғылыми еңбектерімізде айтып өткеніміздей [4, 5], доломит, альбит, мусковит сияқты механикалық тұрақсыз минералды тұздардан тұратын таужынысы массивтерін химиялық жолмен бекемдеуге ең тиімді реагент түрі зертханалық сынақ жұмыстарының нәтижесінде (беріктік сипаты, қолданылу қауіпсіздігі, экологиялық зиянсыздығы және экономикалық көрсеткіштері)

эпоксид шайыры мен ПЭПА-ның 9:1 қатынасынан алынған реагент екендігі дәлелденген.

Эпоксидті шайырдың аталмыш құрамын қолдану барысында таужыныстары кесектерінің жанасатын беткі қабатында еріту процесі жүріп, ондағы металл атомдары мен тотықтар (*Si* (15,4%), *Al* (28,32%), *Fe* (33,03%)) реагентпен тұз тәрізді, хелатты және элементті органикалық қосылыстар түзеді. Зерттелген таужынысының құрамында *SiO₂* – 81,7% болғандықтан, кварц минералы желім құрамындағы эпоксидті топтың ашылуына катализатор ретінде әсер етіп, желім мен таужынысы кесектерінің бетінде орналасқан майда бөлшектерді ерітіп, нәтижесінде берік механикалық қоспа пайда болды.

Ендігі алға қойған мақсат, тиімді деп анықталған эпоксид шайыры мен ПЭПА-ның 9:1 қатынасындағы реагентті орнықсыз таужынысы сілеміне енгізу кезінде оның таралу заңдылықтарын ғылыми негізде айқындау болып табылады.

Реагентті сілемге енгізу алдын ала бұрғыланған ұңғымалар арқылы жүзеге асырылады, мұнда қысым күшін қолдану арқылы реагенттің тереңдікке таралуы қамтамасыз етіледі. Бұл процесс таужынысы құрылымына әсер етіп, химиялық реагенттің сілемнің жарықшақтарына енуін және оның физика-химиялық қасиеттерін жақсартуды қамтамасыз етеді. Қысымның дұрыс реттелуі реагенттің біркелкі таралуын және таужынысының тұрақтылығын арттыру үшін маңызды болып табылады.

Жерасты гидравликасы саласында бүгінгі күнге дейін бірнеше маңызды мәселелер, оның ішінде тау-кен сілеміне әртүрлі ұңғымалар бұрғыланып, сол арқылы сұйықтықтардың енгізілуі кезінде олардың қозғалысының заңдылықтары зерттелген [6, 7, 8, 9]. Осыған байланысты, спецификалық ерекшеліктерді ескере отырып, сүзгіштік теориясының негізгі ережелерін біздің жағдайымызда, атап айтқанда желімдеу реагентін енгізу процесінде тиімді қолдануға болады.

Зерттеу әдістемесі

Сүзгіштіктің математикалық моделін негіздеу және таңдау барысында желімдеуші реагенттің сіңірілетін нысанның спецификасы, яғни тау-кен сілемінің қуыстылығы маңызды фактор болып табылады. Бұл параметрдің ескерілуі сілемнің орнықсыз таужынысы қабатында желімдеуші реагентпен берік байланыс орнату үшін шешуші рөл атқарады.

Желімдеуші реагентті тау-кен сілеміне енгізу технологиясының параметрлерін есептеу үшін, Кузнийшахтострой әзірлеген [10, 11] тығындау ерітінділерінің сүзгіштігіне арналған математикалық моделін негіз ретінде қабылдауды орынды деп шештік. Алайда, эпоксид желіміне қосылатын катализатордың әсерін ескере отырып, бұл модельге өзгерістер енгізу қажет. Өйткені катализатордың желімге қосылуы оның қату үдерісінің жылдамдығын арттырады, ал бұл өз кезегінде желімнің тау-кен сілеміне сіңу дәрежесіне айтарлықтай әсер етеді.

Осы айтылған негіздемелерге сүйене отырып, катализатормен араласқан эпоксид реагентінің жарықшақты сілемге сіңірілу жылдамдығын анықтау үшін келесі формуланы қолдануға болады:

$$V_c = \left(\frac{K \cdot g \cdot \delta}{6 \cdot f \cdot \rho_{\text{ЭК}}} \right)^{1/2} \left[\frac{V^2 \left(\frac{E\rho_a + C\rho_k}{E + C} \right)^n}{g} \right]^{3/7}, \quad (1)$$

мұндағы V_c – ерітіндінің енгізілу жылдамдығы, м/с;

K – түзету коэффициенті, $K = 1,25$;

g – ауырлық күшінің үдеуі, м/с²;

δ – жарықшақтардың орташа өлшемі, м;

V – гидравликалық ірілік, м/с;

f – қуыстардың гидравликалық кедергі коэффициенті;

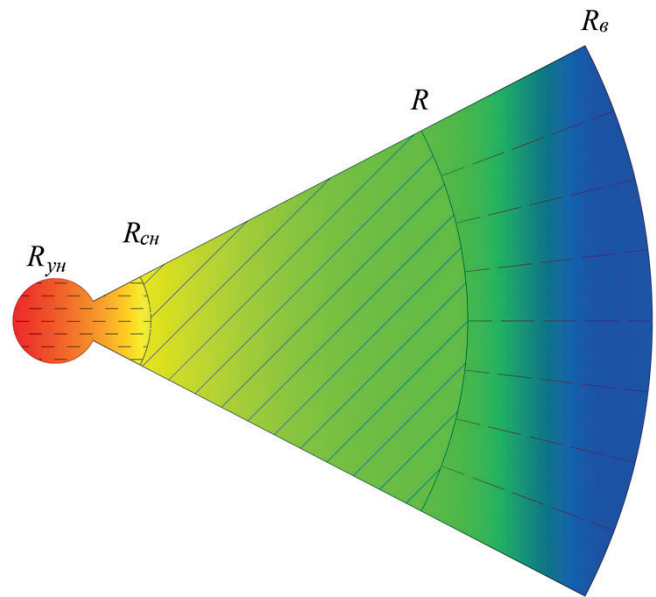
n – эмпирикалық дәреженің көрсеткіші;

E, C – дайын желімдегі эпоксид пен катализатордың массалық үлестері;

$\rho_{\text{ЭК}}, \rho_a, \rho_k$ – сәйкесінше эпоксидтің, катализатордың және дайын желімнің тығыздықтары, кг/м³.

Эпоксид реагентін ұңғымаға енгізу технологиясының параметрлері тау-кен сілеміндегі жарықшақтар мен қуыстардың толу үдерісімен айқындалады. Желімдеуші реагенттің қоюлығы тұрақсыз ерітінді болып табылатындықтан, оның ену жылдамдығына әсер ететінін ескере отырып, жоғарыда аталған гидродинамикалық модельді негіз ретінде қабылдаймыз.

Осылайша, желім сіңірілетін тау-кен сілемін әртүрлі шарттарға ие кем дегенде үш қабатты орта ретінде қарастырамыз. Желімдеуші реагенттің бір ұңғымадан таралу сұлбасы 1 суретте көрсетілген.



Сурет 1. Желімдеуші реагенттің тау-кен сілеміне таралу кедергісіне негізделген аймақтарға бөліну сұлбасы: R_{yn} – ұңғыманың радиусы, м; R_{cn} – реагенттің еркін қозғалу радиусы, м; R – ағымдық радиусы, м; R_b – реагенттің сүзілу радиусы, м.
Figure 1. Schematic of the division into regions based on the distribution resistance of the binding reagent in the rock mass: R_{yn} – radius of the well, m; R_{cn} – radius of free movement of the reagent, m; R – flow radius, m; R_b – radius of reagent filtration, m.

Рис. 1. Схема деления на области, основанная на сопротивлении распространению связывающего реагента в горном массиве: R_{yn} – радиус скважины, м; R_{cn} – радиус свободного распространения реагента, м; R – радиус потока, м; R_b – радиус фильтрации реагента, м.

Тау-кен сілемінің жарықшақтары мен қуыстарының желімдеуші реагентпен толу тиімділігі кесектердің бөлшектенуі мен сілемнің деформациялану дәрежесіне тәуелді болып табылады, және бұл үдеріс келесі критерий бойынша бағаланады:

$$S = \frac{V_c}{V_T} = \frac{KV_{\text{ар}}}{V_T} \geq 1, \quad (2)$$

мұндағы S – сапа критерийінің коэффициенті;

V_T – тау-кен сілеміндегі желіммен толтырылмаған жарықшақтардың қуыстарының көлемі, м³;

V_c – инъекциялау процесі аяқталғаннан кейінгі қуыстардың сығылған көлемі, м³;

$V_{\text{ар}}$ – сығымдаушы қысым әсерінен таужыныстарының деформациялануы нәтижесінде инъекциялау кезінде қуыстардың асыра толу көлемі, м³;

K – инъекциялы қысымды тоқтатқаннан кейін, таужыныс сілеміндегі қалдық деформацияны ескере отырып, бастапқы көлемді қалпына келтіру коэффициенті.

Желім реагентінің тау-кен сілеміне сіңу тиімділігін жалпы қалдық қуыс коэффициентінің ($m_{\text{ка}}$) мәнімен бағалауға болады:

$$m_{\text{ка}} = \frac{V_{\text{т}} - KV_{\text{ар}}}{\pi(R^2 - R_{\text{ун}}^2)} m_0 \rightarrow 0. \quad (3)$$

Жоғарыда келтірілген әдістемеге сүйене отырып, орнықсыз тау-кен сілеміне эпоксид шайыры мен ПЭПА-ның 9:1 қатынасында дайындалған реагентті енгізу кезінде желімнің таралу заңдылықтарын анықтауға болады. Бұл әдістеме тау-кен сілеміндегі жарықшақтар мен қуыстарды ескере отырып, желімнің таралу үдерісін жан-жақты зерттеуге мүмкіндік береді.

Нәтижелер және оларды талқылау

Таужыныстары сілеміндегі қуыстардың толу үдерісін гидродинамикалық есептеу үшін жоғарыда келтірілген

әдістеме және Кузниишахтострой әзірлеген химиялық бекіту әдісінің алгоритмі қолданылды. Орындалған есептеулер нәтижесінде ерітіндінің шығыны, айдамалау қысымы, сіңу радиусының уақытқа тәуелділігі, сондай-ақ жарықшақтардың қысымға байланысты тығындалу тығыздығы анықталды. Шартты түрде берілетін тау-кен сілемінің негізгі физика-механикалық қасиеттері Ақбақай кенорынының инженерлік-геологиялық сипаттамаларынан алынды.

Модельді есептеулердің нәтижелері 1–3 кестелерде көрсетілген, ал кейбір тәуелділіктер график түрінде 2–4 суреттерде келтірілген. Бұл деректер тау-кен жұмыстарының тиімділігін арттыруға, сондай-ақ реагенттің сіңу үдерісін дұрыс бағалауға мүмкіндік береді.

Кесте 1

Эпоксид шайырының жарықшақты тау-кен сілеміне таралу заңдылықтарын аналитикалы анықтаудың нәтижелері (ұңғыма тереңдігі $l = 2$ м; ұңғымадағы реагент шығыны 10 л/мин)

Table 1

Results of the analytical calculation of epoxy resin distribution patterns in fractured rock massifs (well depth $l = 2$ m; reagent flow rate in the well: 10 L/min)

Таблица 1

Результаты аналитического расчета закономерностей распределения эпоксидной смолы в трещиноватом горном массиве (глубина скважины $l = 2$ м; расход реагента в скважине: 10 л/мин)

Реагент түрі	Қуыс коэффициентінің бастапқы мәні (m_0)	Қысым мәні (P_{yw}), МПа	Енгізу уақыты (t), мин		Қуыстардың толу критерийі S		Реагенттің сілемге таралу радиусы (R), м
			1 кезең	2 кезең	1 кезең	2 кезең	
$K_0 = 15 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \delta = 0,5 \text{ мм}$							
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,011	0,7	5,5	3,9	1,1	1,0	0,1
$K_0 = 250 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \delta = 1,0 \text{ мм}$							
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,01	0,8	4,41	1,03	0,2	0,9	0,13
$K_0 = 1677 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \delta = 1,5 \text{ мм}$							
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,009	1,0	4,2	1,3	0,1	0,8	0,13
$K_0 = 2200 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \delta = 2,0 \text{ мм}$							
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,008	1,2	3,6	0,9	0,08	1,0	0,17

Кесте 2

Эпоксид шайырының жарықшақты тау-кен сілеміне таралу заңдылықтарын аналитикалы анықтаудың нәтижелері (ұңғыма тереңдігі $l = 2,5$ м; ұңғымадағы реагент шығыны 20 л/мин)

Table 2

Results of the analytical calculation of epoxy resin distribution patterns in fractured rock massifs (well depth $l = 2,5$ m; reagent flow rate in the well: 20 L/min)

Таблица 2

Результаты аналитического расчета закономерностей распределения эпоксидной смолы в трещиноватом горном массиве (глубина скважины $l = 2,5$ м; расход реагента в скважине: 20 л/мин)

Реагент түрі	Қуыс коэффициентінің бастапқы мәні (m_0)	Қысым мәні (P_{yw}), МПа	Енгізу уақыты (t), мин		Қуыстардың толу критерийі S		Реагенттің сілемге таралу радиусы (R), м
			1 кезең	2 кезең	1 кезең	2 кезең	
$K_0 = 15 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \delta = 0,5 \text{ мм}$							
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,011	0,8	4,8	2,1	0,7	0,9	0,08
$K_0 = 250 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \delta = 1,0 \text{ мм}$							
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,01	1,1	2,8	1,3	0,4	1,0	0,13
$K_0 = 1677 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \delta = 1,5 \text{ мм}$							
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,009	1,2	2,2	0,7	0,6	0,8	0,12
$K_0 = 2200 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2; \delta = 2,0 \text{ мм}$							
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,008	1,3	1,8	0,4	0,1	0,7	0,14

Кесте 3

Эпоксид шайырының жарықшақты тау-кен сілеміне таралу заңдылықтарын аналитикалы анықтаудың нәтижелері (ұңғыма тереңдігі $l = 3$ м; ұңғымадағы реагент шығыны 25 л/мин)

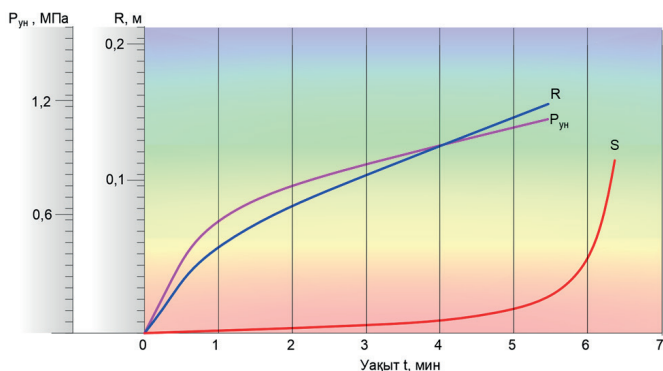
Table 3

Results of the analytical calculation of epoxy resin distribution patterns in fractured rock massifs (well depth $l = 3$ m; reagent flow rate in the well: 25 L/min)

Таблица 3

Результаты аналитического расчета закономерностей распределения эпоксидной смолы в трещиноватом горном массиве (глубина скважины $l = 3$ м; расход реагента в скважине: 25 л/мин)

Реагент түрі	Қуыс коэффициентінің бастапқы мәні (m_0)	ҚЫСЫМ МӘНІ (P_{yn}), МПа	Енгізу уақыты (t), мин	Қуыстардың толу критерийі S	Реагенттің сілемге таралу радиусы (R), м
$K_0 = 15 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$; $\delta = 0,5 \text{ мм}$					
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,011	0,9	14,5	3,4	0,1
$K_0 = 250 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$; $\delta = 1,0 \text{ мм}$					
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,01	1,0	11,2	0,2	0,12
$K_0 = 1677 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$; $\delta = 1,5 \text{ мм}$					
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,009	1,1	10,6	0,9	0,13
$K_0 = 2200 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$; $\delta = 2,0 \text{ мм}$					
Эпоксид пен ПЭПА 9:1	0,008	1,1	10,4	0,1	0,15

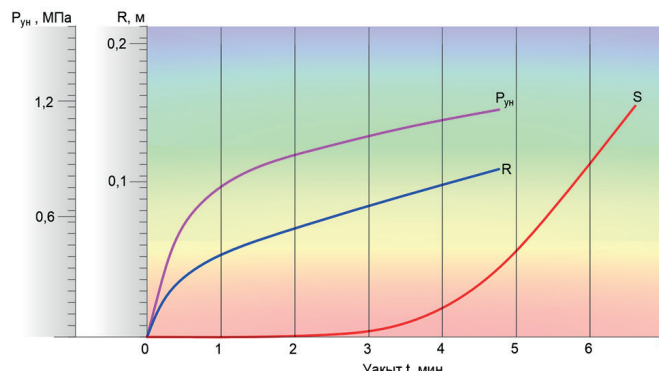


Сурет 2. Ұңғыма тереңдігі $l = 2$ м, реагент шығыны 10 л/мин болғандағы қысым (P_{yn}), таралу радиусы (R) және толу сапасы критерийінің (S) уақытқа тәуелділік графигі.

Figure 2. Graph of pressure (P_{yn}), distribution radius (R), and filling quality criterion (S) as a function of time for a well depth of $l = 2$ m and a reagent flow rate of 10 L/min.

Рис. 2. График зависимости давления (P_{yn}), радиуса распространения (R) и критерия качества заполнения (S) от времени при глубине скважины $l = 2$ м и расходе реагента 10 л/мин.

Математикалық модельдеу әдістерін қолдану арқылы орындалған есептеулер нәтижелерін талдау барысында химиялық желімдеуші реагенттің тау-кен сілемінде таралу радиусының шамасы $R = 0,09 - 0,2$ м, ал ерітіндіні айдамалау қысымының диапазоны $P_{yn} = 0,9 - 1,4$ МПа аралығында қамтамасыз етілетіні дәлелденді. Есептеулер нәтижесінде қысым мөлшерінің артуына байланысты ерітіндінің таралу радиусының өсуі гиперболалық сипатта болатыны анықталды.

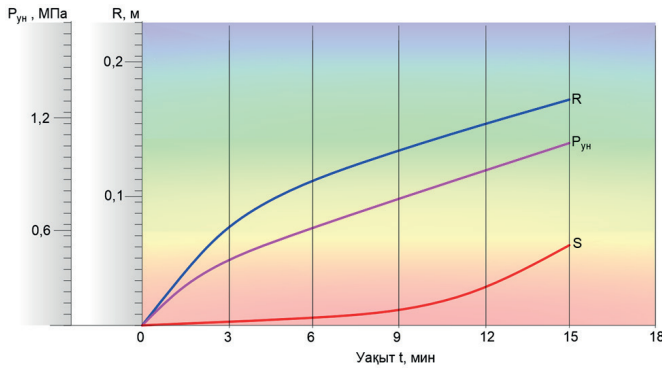


Сурет 3. Ұңғыма тереңдігі $l = 2,5$ м, реагент шығыны 20 л/мин болғандағы қысым (P_{yn}), таралу радиусы (R) және толу сапасы критерийінің (S) уақытқа тәуелділік графигі.

Figure 3. Graph of pressure (P_{yn}), distribution radius (R), and filling quality criterion (S) as a function of time for a well depth of $l = 2,5$ m and a reagent flow rate of 20 L/min.

Рис. 3. График зависимости давления (P_{yn}), радиуса распространения (R) и критерия качества заполнения (S) от времени при глубине скважины $l = 2,5$ м и расходе реагента 20 л/мин.

Ерітіндіні айдамалау үдерісі екі негізгі кезеңнен тұрады. Бірінші кезеңдегі айдамалау уақыты тау-кен сілемінің қуыстылығының көрсеткіші мен ерітіндінің шығынына тәуелді анықталады. Ал екінші кезеңдегі айдамалау уақыты сілемнің қуыстылық коэффициентіне тәуелсіз болып, оның деформациялық қасиеттерінің ықтимал өзгерістеріне байланысты негізделеді. Ақбақай кен орнының инженерлік-геологиялық шарттарына сәйкес, химиялық реагенттің бір ұңғымаға сіңірілуіне қажетті максималды уақыт 14,5 минутты құрады.



Сурет 4. Ұңғыма тереңдігі $l = 3$ м, реагент шығыны 25 л/мин болғандағы қысым (P_{yn}), таралу радиусы (R) және толу сапасы критерийінің (S) уақытқа тәуелділік графигі.

Figure 4. Graph of pressure (P_{yn}), distribution radius (R), and filling quality criterion (S) as a function of time for a well depth of $l = 3$ m and a reagent flow rate of 25 L/min.

Рис. 4. График зависимости давления (P_{yn}), радиуса распространения (R) и критерия качества заполнения (S) от времени при глубине скважины $l = 3$ м и расходе реагента 25 л/мин.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде жарықшақты тау-кен сілемдерін химиялық әдіспен бекемдеу технологиясының ғылыми негіздері әзірленді. Есептік модельдеу әдістері мен аналитикалық есептеулер арқылы эпоксид негізіндегі желімдеуші реагенттің сілемге сіңу заңдылықтары, ерітіндіні айдамалау қысымы, таралу радиусы, қуыстардың толу сапасы сияқты маңызды параметрлер анықталды.

1. Желімдеуші реагенттің таралу радиусы мен қысымының байланысы: реагенттің тау-кен сілеміне сіңу

радиусының $R = 0,09 - 0,2$ м мөлшері, ал айдамалау қысымының $P_{yn} = 0,9 - 1,4$ МПа аралығында тиімді екені анықталды. Қысымның өсуіне байланысты реагенттің таралу радиусының гиперболалық сипатта артатыны дәлелденді.

2. Айдамалау процесінің кезеңдері: реагентті енгізу үдерісі екі кезеңнен тұрады. Бірінші кезеңде айдамалау уақыты тау-кен сілемінің қуыстылық коэффициенті мен ерітіндінің шығынына байланысты болса, екінші кезеңде ол сілемнің деформациялық қасиеттерінің өзгерісіне тәуелді анықталды.

3. Модельдеу нәтижелері: Ақбақай кен орнының тау-кен сілемдері үшін жүргізілген модельдік есептеулер бойынша химиялық реагенттің бір ұңғымаға толық сіңірілуіне қажетті уақыт 14,5 минут деп есептелді. Бұл уақыт сілемдегі жарықшақтарды толтыру және олардың тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін жеткілікті деп танылды.

Зерттеу жұмысының нәтижелері геологиялық және инженерлік тұрғыдан күрделі шарттарда жерасты қазбаларын қауіпсіз және тиімді өтуді қамтамасыз етуге ықпал етеді. Өзірленген технология жарықшақты сілемдердегі қуыстарды толтыруда реагенттің таралуын тиімді басқарып, өндірістік шығындарды азайту және жерасты қазбаларының тұрақтылығын арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

АЛҒЫС

Мақала Қазақстан Республикасының Ғылым және Жоғары Білім министрлігінің гранттық қаржыландыруымен жүзеге асырылып жатқан АР19576987 «Кен шоғырларын қауіпсіз игеруді қамтамасыз ететін жоғары технологиялы материалдардан модификациялы жетілдірілген озыңқы бекітпені қолданып орнықсыз массивтерді нығайтудың тиімді әдісін жасау» жобасы аясында орындалған ғылыми-зерттеу жұмыстары нәтижесінде жарияланды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бегалинов Ә.Б. Тау-кен кәсіпорындарының жерасты кешендерін жобалау: Алматы.: ЖШС РПБК «Дәуір», 2011. 352 б. (қазақ тілінде)
2. Макаров А.Б. Практикалық геомеханика: М.: Тау-кен кітабы, 2006. 391 б. (орыс тілінде)
3. Геомеханикалық факторлардың дайындық тау-кен қазбаларының бекіту жүйесіне әсер ету заңдылықтарын анықтау / Bondarenko V. [және т. б.] // Тау-кен ісі. 2020. № 14 (1). Б. 44–50 (ағылшын тілінде)
4. Amanzholov D., Vakhratov B., Vektur B. Жер асты шахталарында тау-кен қазбаларын өту кезінде орнықсыз массивтерде таужыныстарының үгілуі және бекіту үшін тиімді желімдеу қоспаларын таңдау // Тау-кен ісі. 2024. № 18 (3). Б. 104–113 (ағылшын тілінде)
5. Минералды тұздардан тұратын тұрақсыз жер асты қазбаларын химиялық қоспалармен бекіту технологиясы / Begalinov A.V. [және т. б.] // Қазақстанның кен журналы. 2016. № 4. Б. 22–24 (ағылшын тілінде)
6. Алтаев Ш.А., Жалғасов Н.Ж. және т. б. Қатты кендерді жер асты игеруде тау жыныстарын смола инъекциясымен бекіту: Алматы: Рауан, 1997. 336 б. (орыс тілінде)
7. Климентов П.П., Кононов В.М. Жерасты суларының динамикасы: М.: Жоғары мектеп, 1985. 384 б. (орыс тілінде)
8. Дайындық қазбаларын бекіту және қорғау тәжірибесін қорытындылау / Егоров С.И. [және т. б.] // Украина көмірі. 2002. № 5. Б. 19–21 (орыс тілінде)
9. Сенімсіз массивтер шарттарында тау-кен қазбаларын бекіту технологиясын зерттеу / Matayev A. [және т. б.] // Тау-кен ісі. 2021. № 15 (3). Б. 78–86 (ағылшын тілінде)

10. Хямяляйнен В.А., Митраков В.И., Сыркин П.С. Қазбаларды өту кезінде тау жыныстарын физика-химиялық әдістермен бекіту: М.: Недра, 1996. 352 б. (орыс тілінде)
11. Stryczek S., Gonet A., Kremieniewski M. Арнайы цементті ерітінділерді тұзды тау жыныстарын бекіту үшін қолдану // Энергия. 2022. № 15 (16). Б. 60–87 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Begalinov A.B. Design of underground complexes of mining enterprises: Almaty: LLP RPKK «Daur», 2011. 352 p. (In Kazakh)
2. Makarov A.B. Prakticheskaya geomekhanika [Practical geomechanics]. Moscow: Gornaya kniga, 2006. 391 p. (in Russian)
3. Determining patterns of the geomechanical factors influence on the fastening system loading in the preparatory mine workings / Bondarenko V. [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2020. No. 14 (1). 44–50 pp. (in English)
4. Amanzholov D., Bakhramov B., Bektur B. Rock exfoliation in the unstable formations during underground mine working driving and selection of efficient adhesive compositions for strengthening // Mining of Mineral Deposits. 2024. No. 18 (3). 104–113 pp. (in English)
5. Fastening technology of unstable underground workings composed of mineral salts by chemical additives / Begalinov A.B. [et al.] // Mining Magazine of Kazakhstan. 2016. No. 4. 22–24 pp. (in English)
6. Altayev Sh.A., Zhalgasov N.Zh. et al. Smoloin”yektsionnoye uprochneniye gornyx porod pri podzemnoy razrabotke krepkiykh rud [Resin injection rock hardening in underground mining of hard ores]. Almaty: Rauan, 1997. 336 p. (in Russian)
7. Klimentov P.P., Kononov V.M. Dinamika podzemnykh vod [Dynamics of groundwater]. Moscow: Vysshaya shkola, 1985. 384 p. (in Russian)
8. Obobshcheniye opyta krepneniya i okhrany stroitel’nykh rabot [Summarization of the experience of securing and protecting preparatory workings], Yegorov S.I. [et al.], Ugol’ Ukrainy [Coal of Ukraine]. 2002. No. 5. 19–21 pp. (in Russian)
9. Research into technology of fastening the mine workings in the conditions of unstable masses / Matayev A. [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2021. No. 15 (3). 78–86 pp. (in English)
10. Khyamyalyaynen V.A., Mitrakov V.I., Syrkin P.S. Fiziko-khimicheskoye sostoyaniye pri sooruzhenii vyrobotok [Physical and chemical rock reinforcement during the construction of mine workings]. Moscow: Nedra, 1996. 352 p. (in Russian)
11. Stryczek S., Gonet A., Kremieniewski M. Special cement slurries for strengthening Salt Rock mass // Energies. 2022. No. 15 (16). 60–87 pp. (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бегалинов А.Б. Проектирование подземных комплексов горнорудных предприятий: Алматы: ТОО РПБК «Дауыр», 2011. 352 с. (на казахском языке)
2. Макаров А.Б. Практическая геомеханика: М.: Горная книга, 2006. 391 с. (на русском языке)
3. Определение закономерностей влияния геомеханических факторов на нагрузку крепежной системы в подготовительных горных выработках / Bondarenko V. [и др.] // Горное дело. 2020. № 14 (1). С. 44–50 (на английском языке)
4. Amanzholov D., Bakhramov B., Bektur B. Расслоение горных пород в нестабильных образованиях при проведении подземных горных выработок и выбор эффективных клеевых составов для укрепления // Горное дело. 2024. № 18 (3). С. 104–113 (на английском языке)
5. Технология крепления нестабильных подземных выработок состоящих из минеральных солей с использованием химических добавок / Begalinov A.B. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2016. № 4. С. 22–24 (на английском языке)
6. Алтаев Ш.А., Жалгасов Н.Ж. и др. Смолоинъекционное упрочнение горных пород при подземной разработке крепких руд: Алматы: Рауан, 1997. 336 с. (на русском языке)
7. Климентов П.П., Кононов В.М. Динамика подземных вод: М.: Высшая школа, 1985. 84 с. (на русском языке)
8. Обобщение опыта крепления и охраны подготовительных выработок / Егоров С.И. [и др.] // Уголь Украины. 2002. № 5. С. 19–21 (на русском языке)
9. Исследования технологии крепления горных выработок в условиях нестабильных массивов / Matayev A. [и др.] // Горное дело. 2021. № 15 (3). С. 78–86 (на английском языке)
10. Хямяляйнен В.А., Митраков В.И., Сыркин П.С. Физико-химическое укрепление пород при сооружении выработок: М.: Недра, 1996. 352 с. (на русском языке)
11. Stryczek S., Gonet A., Kremieniewski M. Специальные цементные растворы для укрепления солевых горных масс // Энергия. 2022. № 15 (16). С. 60–87 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Искаков Е.Е., Ph.D, Satbayev University, O.A. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты, «Тау-кен ісі» кафедрасының зерттеуші-профессоры (Алматы қ., Қазақстан), iskakov.yerkin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5269-9018>

Аманжолов Д.Б., Ph.D, Toraighyrov University, Инженерия факультетінің «Өнеркәсіптік, азаматтық және көлік құрылысы» кафедрасының аға оқытушысы (Павлодар қ., Қазақстан), amanzholovdikhan@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5666-9649>

Кенесов Ж.Г., техника ғылымдарының магистрі, «НПП ZERDE» Жауапкершілігі шектелі серіктестігінің директоры (Алматы қ., Қазақстан), kenesov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0427-313X>

Алип А.Қ., техника ғылымдарының магистрі, «АК Алтыналмас» Акционерлік қоғамының инженері (Алматы қ., Қазақстан), alipabylai@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2601-714X>

Information about the authors:

Iskakov Ye., Ph.D, Research Professor at the «Mining» Department of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Amanzholov D., Ph.D, Senior lecturer of the department «Industrial, Civil and Transport Construction» of the Faculty of Engineering of the Toraighyrov University (Pavlodar, Kazakhstan)

Kenesov Zh., Master of Technical Sciences, Director of the Limited Liability Partnership «NPP ZERDE» (Almaty, Kazakhstan)

Alip A., Master of Technical Sciences, Engineer at the Joint Stock Company «AK Altynalmas» (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Искаков Е.Е., Ph.D, профессор-исследователь кафедры «Горное дело» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Аманжолов Д.Б., Ph.D, ст. преподаватель кафедры «Промышленное гражданское и транспортное строительство» факультета инженерии Toraighyrov University (г. Павлодар, Казахстан)

Кенесов Ж.Г., магистр техн. наук, Директор Товарищества с ограниченной ответственностью «НПП ZERDE» (г. Алматы, Казахстан)

Алип А.Қ., магистр техн. наук, инженер Акционерного общества «АК Алтыналмас» (г. Алматы, Казахстан)

TECH MINING KAZAKHSTAN 2025

МОДЕРНИЗАЦИЯ И
ЦИФРОВИЗАЦИЯ
ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
3-я международная отраслевая
конференция и выставка

27 ноября 2025

Астана, Казахстан



16+

www.techmining.ru

Код МРНТИ 52.13.25

А.М. Суимбаева¹, *А.Ж. Имашев¹, Г.Ж. Жунусбекова², А.А. Мусин¹¹Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова (г. Караганда, Казахстан),
²АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова» (г. Астана, Казахстан)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ

Аннотация. В условиях истощения запасов полезных ископаемых возрастает актуальность разработки остаточных запасов в сложных геомеханических условиях. Существенным фактором, влияющим на устойчивость очистных выработок, является наличие ранее отработанных пространств, формирующих вторичное напряженно-деформированное состояние массива. В исследовании методом конечных элементов (RS2) проанализировано влияние межвыработочного расстояния на устойчивость выработок в зоне техногенных обнажений. Установлено, что при расстоянии менее 10 м происходит слияние зон пластических деформаций, что ведет к потере несущей способности целлика и смещению кровли и почвы. Оптимальные условия достигаются при расстоянии 20–25 м, когда коэффициент запаса прочности возрастает, а зоны пластических деформаций остаются изолированными. Полученные результаты обосновывают рациональные параметры системы разработки и позволяют оптимизировать управление горным давлением.

Ключевые слова: горная выработка, коэффициент запаса устойчивости, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, полнота извлечения, целлик, напряжение.

Өндірілген кеністіктердің әсер ету аймақтарындағы тау-кен қазбаларының орнықтылығын бағалау

Андатпа. Пайдалы қазбалар қорының сарқылу жағдайында күрделі геомеханикалық жағдайда қалған қорларды игеру өзекті бола түсуде. Тазарту қазбаларының тұрақтылығына әсер ететін маңызды факторлардың бірі – массивтің екінші реттік кернеулі-деформацияланған күйін қалыптастыратын бұрынғы қазылған кеністіктердің болуы. Зерттеуде соңғы элементтер әдісі (RS2) арқылы техногендік ашылымдар аймағындағы қазбалардың тұрақтылығына аралық қашықтықтың ықпалы талданды. 10 м-ден аз қашықтықта пластикалық деформация аймақтарының қосылуы байқалып, бұл целликтің көтергіш қабілетін жоғалтуына және қазбалардың төбе мен табанының ығысуына әкелетіні анықталды. 20–25 м аралықта оңтайлы жағдай қалыптасады: беріктік қоры коэффициенті артып, пластикалық деформация аймақтары оқшауланған күйде қалады. Алынған нәтижелер жүйелі игеру параметрлерін ғылыми негіздеуге және тау-кен қысымын басқаруды оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: тау-кен қазбасы, орнықтылық коэффициенті, кернеулі-деформациялық күй, сандық модельдеу, қазып алу толықтығы, кентірек, кернеу.

Assessment of mine working stability in the zone of influence of mined-out areas

Abstract. In the context of mineral resource depletion, the development of residual reserves under complex geomechanical conditions becomes increasingly relevant. A significant factor influencing the stability of stopes is the presence of previously mined-out areas, which form a secondary stress-strain state of the rock mass. In this study, the finite element method (RS2) was used to analyze the effect of inter-excitation distance on the stability of workings within the influence zone of man-made openings. It was found that at distances of less than 10 m, plastic deformation zones merge, leading to the loss of the pillar's load-bearing capacity and displacements of the roof and floor. Optimal conditions are achieved at distances of 20–25 m, where the factor of safety increases and the plastic deformation zones remain isolated. The obtained results provide a scientific basis for rational design parameters of the mining system and allow optimization of ground pressure control.

Key words: excavation, safety factor, stress-strain state, numerical modeling, pillar, stress, recovery ratio.

Введение

Несмотря на значительные запасы, многие крупные горнодобывающие предприятия уже сейчас сталкиваются с проблемой истощения высококачественных запасов полезных ископаемых. Это обстоятельство закономерно ведет к необходимости вовлечения в отработку запасов руды с низким содержанием, а также тех запасов, которые ранее были оставлены в участках со сложной геомеханической обстановкой, особенно в зонах сдвижения горных пород.

В условиях истощения легкодоступных ресурсов все чаще возникает необходимость разработки рудных тел, расположенных вблизи отработанных пространств, в сложных геомеханических условиях. Одной из ключевых проблем при этом является обеспечение устойчивости очистных выработок и повышение полноты извлечения руд.

Влияние ранее отработанных участков на новые очистные выработки проявляется в перераспределении и концентрации напряжений, формировании вторичных зон сдвижения, обрушения и неупругих деформаций в массиве горных пород. Это может привести к снижению устойчивости горных выработок, увеличению потерь руды и рисков для безопасности персонала. Решение данной проблемы требует комплексного подхода, включающего геомеханическое моделирование, адаптацию технологических схем и внедрение методов управления горным давлением.

Цель данной статьи – изучение влияния отработанных пространств на устойчивость очистных выработок при последующей отработке остаточных запасов, а также опре-

деление эффективных геотехнологических решений, обеспечивающих безопасность работ и повышение полноты извлечения руд.

Методика

Проходка горных выработок, особенно в зоне влияния очистного пространства, всегда приводит к перераспределению исходного поля напряжений, в результате чего формируется вторичное поле напряжений. Это вторичное поле характеризуется концентрацией напряжений в одних зонах и их разгрузкой в других, что напрямую влияет на устойчивость породного массива [1, 2]. Одним из примеров служит исследование, проведенное на угольной шахте Xinyi (Китай) [3], где изучалась устойчивость проезжей части откатной дорожки. Для анализа использовался комплексный подход, включающий теоретические методы, численное моделирование и инженерные наблюдения. Установлено, что при развитии горных работ в прилегающем забое угольной выработки породы разрушались и дробились на блоки. Это сопровождалось перераспределением напряжений и возрастанием деформаций окружающей породы проезжей части выработки.

В статье [4] рассматривается проблема снижения устойчивости подготовительных и эксплуатационных выработок в калийных рудниках при ведении очистных работ. Очистные работы оказывают существенное влияние на устойчивость выработок калийных рудников, при проектировании необходимо учитывать зоны перераспределения напряжений и использовать комплексный подход.

Одним из ключевых недостатков при обосновании параметров устойчивости породных обнажений в приконтурной части массива является недостаточная изученность геомеханических процессов, происходящих в этих условиях. Это связано с тем, что существующие модели описания геомеханических процессов, происходящих вблизи техногенных обнажений, не всегда корректно отражают реальные размеры и формы зон неупругих деформаций, что может приводить к недооценке рисков и неоптимальным проектным решениям. Таким образом, углубленное исследование геомеханики в условиях освоения низкосортных руд в зонах сдвижения пород является актуальной научной и практической задачей.

В краевых частях отработанных пространств формируются зоны повышенных напряжений, что может привести к внезапным выбросам породы и руды, особенно при разработке глубокозалегающих месторождений [5, 6, 7].

– В результате деформаций сдвижения и обрушения пород кровли образуются зоны с нарушенной структурой и пониженной несущей способностью, что снижает устойчивость прилегающих выработок.

– Процессы ползучести и длительной деформации в ослабленном массиве могут продолжаться в течение длительного времени после окончания отработки, оказывая влияние на новые очистные работы.

– Образование трещин и нарушение сплошности массива могут привести к изменению режима подземных вод, увеличению водопритоков и рискам затопления выработок.

Эти факторы в совокупности создают сложные условия для ведения горных работ, требующие применения специальных мер по обеспечению устойчивости и безопасности.

Примером практического решения задачи отработки в сложных геомеханических условиях является исследование, выполненное на панели E13103 угольной шахты Cuijiazhai (Китай) [8]. В работе была проанализирована ситуация сближения длинного очистного забоя с зоной подготовительных выработок. Для оценки состояния устойчивости выработок применялся комплексный подход, включающий теоретический анализ и численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ). Расчеты проводились при различных расстояниях между очистным забоем и выработками: 70, 50, 30, 20, 10 и 5 м.

Установлено, что зона перераспределения напряжений распространялась на 40–45 м впереди забоя. Наиболее критический этап был зафиксирован при сокращении расстояния от 10 до 5 м. В этот момент происходило резкое снижение напряжений в приконтурной зоне забоя, что свидетельствовало о переходе массива в пластическое состояние и утрате несущей способности.

Исследования, выполненные учеными Японии и Китая, также подтверждают значительное влияние выработанного пространства на состояние сближенных выработок [9]. Основные деформации фиксировались в кровле выработок. Наиболее неблагоприятная ситуация возникает при залегании прочного и мощного слоя кровли: в этом случае разрушение не развивается, но наблюдается интенсивная концентрация напряжений, что повышает риск внезапных обрушений.

С целью установления влияния ранее отработанного пространства на формирование напряженно-деформированного состояния массива в зоне новых очистных выработок был выполнен численный анализ с использованием программного комплекса RS2. В расчетной схеме (рис. 1) рассматривалось отработанное пространство высотой 30 м и шириной 15 м, а также проектируемая очистная выработка с размерами 10×6 м. В качестве варьируемого параметра принималось расстояние между ними, которое изменялось в диапазоне от 5 м до 25 м. Модель учитывает упругопластическое поведение массива с моделью разрушения Хоека-Брауна [10].

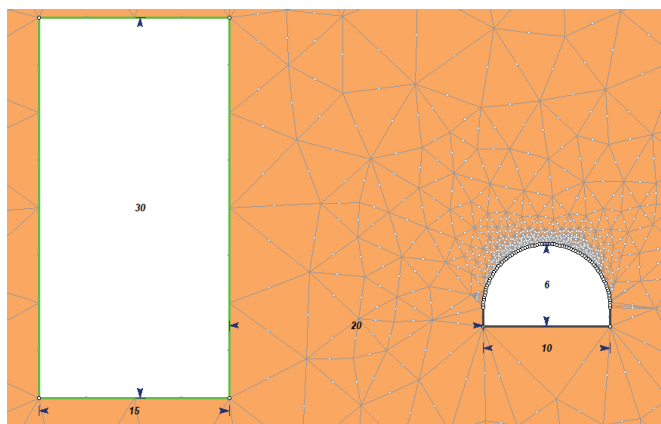


Рис. 1. Схема численного моделирования.

Сурет 1. Сандық моделдеу схемасы.

Figure 1. Numerical modeling scheme.

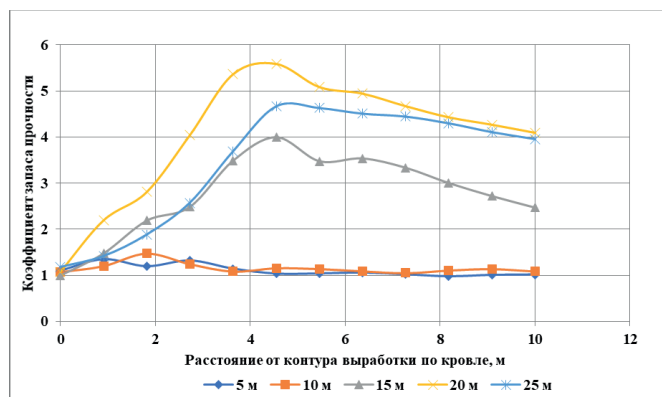


Рис. 2. Изменение коэффициента запаса прочности по кровле.

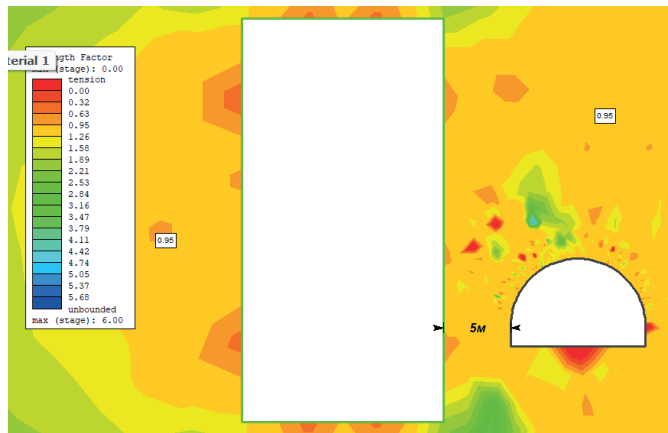
Сурет 2. Қазба төбесі бойынша тұрақтылық қорының өзгеруі.

Figure 2. Variation of stability factor along roof.

Результаты и их обсуждения

Анализ полученных результатов показывает, что при межвыработочном расстоянии 5 м кровля новой выработки испытывает максимальные вертикальные смещения, величина которых в несколько раз превышает значения в условиях значительного удаления отработанного пространства. При этом наблюдаются смещения почвы во внутрь выработки, что указывает на формирование интенсивной зоны деформаций в непосредственной близости от

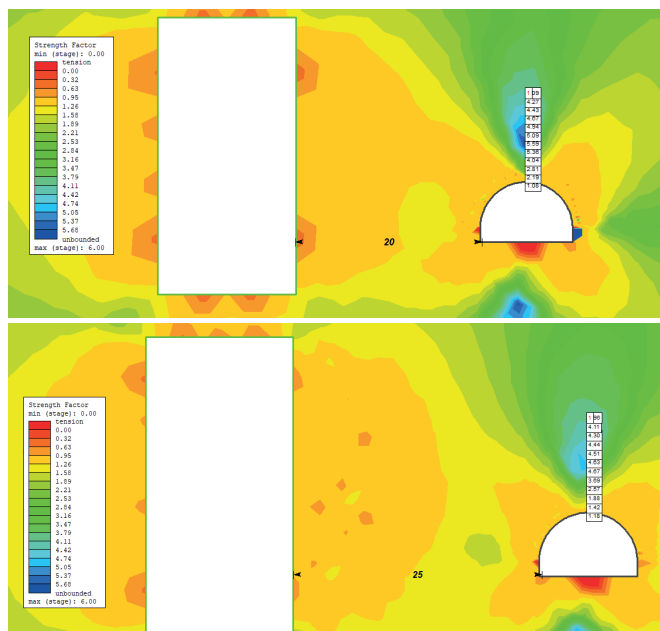
выработанного пространства. Коэффициент запаса прочности в данных условиях колеблется около единицы, что свидетельствует о потере устойчивости (рис. 2, 3). Анализ распределения пластических деформаций свидетельствует о полном взаимодействии зон разрушения вокруг обеих выработок. Их слияние приводит к формированию единого деформированного контура, что указывает на потерю целостности межблокового целика. В результате он теряет несущую способность и не обеспечивает изоляцию зон влияния смежных выработок, что приводит к объединению их напряженных полей.



**Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние массива при межвыработочном расстоянии 5 м.
Сурет 3. Қазбалар арақашықтығы 5 м болғандағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйі.
Figure 3. Stress-strain state of the rock mass at an inter-opening distance of 5 m.**

При расстоянии 10 м амплитуда смещений кровли уменьшается, однако влияние отработанного пространства по-прежнему распространяется на контур новой выработки. Коэффициент запаса прочности остается на низком уровне (около 1–1,2), что указывает на сохраняющийся риск потери устойчивости. Зоны пластических деформаций в этих условиях частично перекрываются, а целик работает в ослабленном режиме, воспринимая нагрузку лишь частично. Это приводит к существенному снижению его несущей способности и создает предпосылки для дальнейшего ухудшения состояния массива.

При межвыработочном расстоянии 15 м формируется более благоприятная картина напряженно-деформированного состояния массива. Вертикальные смещения кровли снижаются до допустимого уровня, величина ее смещения остается незначительной, а смещения в почве выработки незначительны. Коэффициент запаса прочности возрастает до 3–4, что соответствует устойчивому состоянию массива. Анализ полей пластических деформаций показывает, что зоны пластики становятся изолированными, в результате чего целик сохраняет несущую способность и эффективно перераспределяет нагрузки. Таким образом, при расстоянии 15 м обеспечивается достаточный запас устойчивости и создаются благоприятные условия для безопасного ведения очистных работ.



**Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние массива при межвыработочном расстоянии 20 м и 25 м.
Сурет 4. Қазбалар арақашықтығы 20 м және 25 м болғандағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйі.
Figure 4. Stress-strain state of the rock mass at inter-opening distances of 20 m and 25 m.**

Наиболее устойчивое состояние массива фиксируется при расстоянии 20–25 м (рис. 4). Приближение кривой к максимальным значениям связано с перераспределением напряжений: очистное пространство не оказывает критического воздействия, а выработка формируется в относительно ненарушенной зоне массива. При этом зоны пластических деформаций полностью разделены, целик сохраняет упругое состояние и выполняет роль надежного несущего элемента, обеспечивающего устойчивость смежных выработок. Следует отметить, что после достижения локального максимума коэффициент прочности постепенно снижается и стабилизируется на уровне 4–5, что связано с восстановлением естественного напряженного состояния массива на удалении от контура выработки.

Результаты численного моделирования позволили установить, что критическим значением для расстояния между выработанным пространством и новой очистной выработкой является величина менее 10 м. В данном случае наблюдается полное взаимное слияние зон пластических деформаций, что провоцирует развитие недопустимых по величине смещений кровли и почвы и, как следствие, полную потерю несущей способности междублокового целика.

Увеличение межвыработочного расстояния до интервала 20–25 м способствует стабилизации напряженно-деформированного состояния массива. Данный режим характеризуется существенным снижением деформаций до технологически допустимых значений, повышением коэффициента запаса прочности и сохранением целостности и функциональной состоятельности межблокового целика.

Выводы

На основании проведенного численного моделирования установлены критические параметры взаимного расположения горных выработок в условиях нарушенного массива. Результаты исследования демонстрируют существенную зависимость устойчивости породного массива от расстояния между выработанным пространством и новой очистной выработкой.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что при уменьшении межвыработочного расстояния менее 10 м происходит взаимодействие зон пластических деформаций, окружающих смежные выработки. Этот процесс приводит к формированию единого деформированного контура, потере несущей способности целика и развитию смещений породных обнажений.

Определен оптимальный диапазон межвыработочных расстояний 20–25 м, обеспечивающий благоприятное напряженно-деформированное состояние массива. В указанном диапазоне наблюдается изолированный характер зон пластических деформаций, повышение коэффициента запаса прочности до значений 4–5 и сохранение функциональной состоятельности целика.

Благодарность

Статья опубликована в рамках конкурса на грантовое финансирование по научным, научно-техническим программам на 2025–2027 годы (ИРН-АР26103015), при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Imashev A. Определение напряженно-деформированного состояния массива горных пород и зоны неупругой деформации вокруг подземной горной выработки с использованием современных методов численного моделирования // Journal of Sustainable Mining. 2021. № 3. С. 220–227 (на английском языке)*
2. *Исследование устойчивости горных выработок в зоне влияния очистных работ при повторной разработке месторождения / Жиенбаев А.Б. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2023. № 5. С. 40–46 (на русском языке)*
3. *Контроль устойчивости выработки у выработанного пространства при отработке соседнего очистного забоя / Yang H. [и др.] // Sustainability. 2019. Вып. 11. С. 18 (на английском языке)*
4. *Оценка влияния очистных работ на устойчивость горных выработок калийного рудника / Морозов И.А. [и др.] // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2024. Вып. 1. С. 226–237 (на русском языке)*
5. *Renaud V. Численное исследование формирования зоны нарушений вокруг глубокой горной выработки полиметаллического рудника // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Elsevier BV. 2018. Вып. 106. С. 165–175 (на английском языке)*
6. *Исследование возможных зон неупругих деформаций горных пород на глубоких горизонтах / Имашев А.Ж. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2024. № 8. С. 42–47 (на русском языке)*
7. *Исследование геомеханической ситуации в массиве горных пород в зоне влияния очистных работ в условиях шахты Хромтауского месторождения / Матаев А.Қ. [и др.] // Труды КарГТУ. 2020. № 1. С. 53–57 (на русском языке)*
8. *Распределение опорного давления при отработке лавы через заброшенные выработки / Li Y. [и др.] // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Т. 29 (1). С. 59–64 (на английском языке)*
9. *Контроль устойчивости оставляемого штрека у выработанного пространства при различных условиях кровли в глубоких подземных лавных выработках Y-типа / Zhang Z. [и др.] // Sustainability. 2017. Т. 9. С. 19 (на английском языке)*
10. *Hoek E., Brown E.T. Критерий прочности Хука-Брауна и индекс геологической прочности (GSI) – 2018 edition // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. Т. 11. С. 445–463 (на английском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Имашев А. Жерасты қазбасының айналасындағы тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйін және серпінді емес деформация аймағын заманауи сандық модельдеу әдістерімен анықтау // Journal of Sustainable Mining. 2021. № 3. Б. 220–227 (ағылшын тілінде)*
2. *Қайта игеру жағдайында тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы тау-кен қазбаларының орнықтылығын зерттеу / Жиенбаев А.Б. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2023. № 5. Б. 40–46 (орыс тілінде)*
3. *Жерасты шахтасында көршілес көмір қабатын игеру әсерінен пайда болған тау-кен бұзылыстары жағдайында қаптал штректің орнықтылығын басқару / Yang H. [және т. б.] // Sustainability. 2019. Т. 11. Б. 18 (ағылшын тілінде)*
4. *Калий кенішіндегі тазарту жұмыстарының тау-кен қазбалары орнықтылығына әсерін бағалау / Морозов И.А. [және т. б.] // ТулГУ Жаңалықтары. Жер туралы ғылымдар. 2024. № 1. Б. 226–237 (орыс тілінде)*
5. *Renaud V. Терен полиметалл кенішінде қазба жанындағы бүлінген аймақтың дамуын сандық зерттеу // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Elsevier BV. 2018. Б. 165–175 (ағылшын тілінде)*
6. *Мусин А.А., Ескенова Г.Б., Жунусбекова Г.Ж. Терең горизонттардағы тау жыныстарының серпінді емес деформация аймақтарын зерттеу / Имашев А.Ж. [және т. б.] // Қазақстанның тау-кен журналы. 2024. № 8. Б. 42–47 (орыс тілінде)*
7. *Хромтау кенішіндегі тазарту жұмыстары әсер ету аймағындағы тау жыныстары массивінің геомеханикалық жағдайын зерттеу / Матаев А.Қ. [және т. б.] // ҚарМТУ университетінің еңбектері. 2020. № 1. Б. 53–57 (орыс тілінде)*

8. Тасталған қазбалар арқылы ұзын қазба фронтын жүргізгенде тірек қысымының таралуы / Li Y. [және т. б.] // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Т. 29 (1). Б. 59–64 (ағылшын тілінде)
9. Терең жерасты шахталарындағы әртүрлі шатыр жағдайларында қалдырылған қаптал штректің орнықтылығын басқару / Zhang Z. [және т. б.] // *Sustainability*. 2017. Т. 9. Б. 19 (ағылшын тілінде)
10. Hoek E., Brown E.T. Hoek-Brown беріктік критерийі және GSI – 2018 басылымы // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. Т. 11. Б. 445–463 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Imashev A. Determination of the stress-strain state of rock mass and zone of inelastic deformation around underground mine excavation using modern methods of numerical modelling // *Journal of Sustainable Mining*. 2021. No. 3. 220–227 pp. (in English)
2. Issledovanie ustoichivosti gornyykh vyrabotok v zone vliyaniya ochistnykh rabot pri povtornoй razrabotke mestorozhdeniya [Study of the stability of mine workings in the influence zone of stoping operations during repeated mining], Zhiyenbaev A.B. [et al.], *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. 2023. No. 5. 40–46 pp. (in Russian)
3. Stability control of a goaf-side roadway under the mining disturbance of an adjacent coal working face in an underground mine / Yang H. [et al.] // *Sustainability*. 2019. V. 11. 18 p. (in English)
4. Otsenka vliyaniya ochistnykh rabot na ustoichivost' gornyykh vyrabotok kaliinogo rudnika [Assessment of the impact of stoping operations on the stability of mine workings in a potash mine], Morozov I.A. [et al.], *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle [News of TulsU. Earth Sciences]*. 2024. Issue 1. 226–237 pp. (in Russian)
5. Renaud V. Numerical investigation of the development of the excavation damaged zone around a deep polymetallic ore mine // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Elsevier BV. 2018. 165–175 pp. (in English)
6. Issledovanie vozmozhnykh zon neuprugikh deformatsii gornyykh porod na glubokikh gorizontakh [Study of possible zones of inelastic deformation of rocks at deep horizons], Imashev A.Zh. [et al.], *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. 2024. No. 8. 42–47 pp. (in Russian)
7. Issledovanie geomekhanicheskoi situatsii v massive gornyykh porod v zone vliyaniya ochistnykh rabot v usloviyakh shakhty Khromtauskogo mestorozhdeniya [Study of the geomechanical situation in the rock mass in the influence zone of stoping operations under the conditions of the Khromtau deposit mine], Mataev A.K. [et al.], *Trudy KarGTU [Proceedings of the KarGTU]*. 2020. No. 1. 53–57 pp. (in Russian)
8. Abutment pressure distribution for longwall face mining through abandoned roadways / Li Y. [et al.] // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. V. 29 (1). 59–64 pp. (in English)
9. Stability control of retained goaf-side gateroad under different roof conditions in deep underground Y-type longwall mining / Zhang Z. [et al.] // *Sustainability*. 2017. V. 9. 19 p. (in English)
10. Hoek E., Brown E.T. The Hoek-Brown failure criterion and GSI – 2018 edition // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. V. 11. 445–463 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Суимбаева А.М., Ph.D, и. о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Қарағандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Қарағанда, Қазақстан), a.suimbaeva@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6582-9977>

Имашев А.Ж., Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Қарағандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Қарағанда, Қазақстан), a.imashev@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-9799-8115>

Жунусбекова Г.Ж., ст. преподаватель кафедры «Химия, химическая технология и экология», Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова (г. Астана, Қазақстан), gaukhar.zhumashevna@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2842-270X>

Мусин А.А., Ph.D, и. о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Қарағандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Қарағанда, Қазақстан), a.musin@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-6318-9056>

Авторлар туралы мәліметтер:

Суимбаева А.М., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының доцент м. а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Имашев А.Ж., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Жунусбекова Г.Ж., «Химия, химиялық технология және экология» кафедрасының аға оқытушысы, Қ. Құлажанов атындағы қазақ технология және бизнес университеті (Астана қ., Қазақстан)

Мусин А.А., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру» кафедрасының доцент м. а., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Suimbayeva A., Ph.D, acting associate professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkaas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Imashev A., Ph.D, Associate Professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkaas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Zhumusbekova G., Senior lecturer of the Department of «Chemistry, Chemical Technology and Ecology» K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business (Astana, Kazakhstan)

Mussin A., Ph.D, acting associate Professor of the Department «Development of mineral deposits» Non-profit joint-stock company «Abylkaas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 38.17.15:38.17.17

С.Е. Раис¹, Н.Т. Пак², *М.К. Кембаев¹, А. Қ. Амантаев¹¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²Институт геологии им. М.М. Адышева НАН КР (г. Бишкек, Кыргызстан)

ГЕОЛОГИЯ ГРАНИТОВ ЖЕЛЬТАУСКОГО ИНТРУЗИВНОГО МАССИВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Аннотация. Шу-Илеский рудный пояс представляет собой одну из уникальных геологических структур Центральной Азии, где развиты гранитоидные породы различного состава и возраста, включая Жельтауский массив. Эти породы играют ключевую роль как источник строительных материалов, что требует детального изучения их генезиса и свойств. В статье представлены результаты исследований геологических процессов, которые привели к формированию гранитоидов Шу-Илеского рудного пояса, и их влияние на физико-механические свойства пород, используемых в строительной индустрии. Проанализированы ключевые параметры, такие как прочность, пористость и устойчивость к воздействию внешних факторов, что позволяет сделать выводы о пригодности этих гранитоидов для различных типов строительных материалов.

Ключевые слова: Шу-Илеский рудный пояс, Жельтауский массив, гранитоиды, геологические процессы, строительные материалы, физико-механические свойства.

Жельтау интрузия массиві гранитінің геологиясы және оны құрылыс индустриясында қолдану перспективалары

Андатпа. Шу-Иле рудалық белдеуі Орталық Азиядағы бірегей геологиялық құрылымдардың бірі болып табылады, онда әртүрлі құрамы мен жасындағы гранитоидты жыныстар кеңінен таралған, соның ішінде Жельтау массиві. Бұл жыныстар құрылыс материалдарының көзі ретінде маңызды рөл атқарады, сондықтан олардың генезисі мен қасиеттерін егжей-тегжейлі зерттеу қажет. Мақалада Шу-Иле рудалық белдеуіндегі гранитоидтардың қалыптасуына әкелген геологиялық процестер және олардың құрылыс индустриясында қолданылатын жыныстардың физика-механикалық қасиеттеріне әсері туралы зерттеу нәтижелері ұсынылады. Мықтылық, кеуектілік және сыртқы факторларға төзімділік сияқты негізгі параметрлер талданды, бұл осы гранитоидтардың түрлі құрылыс материалдарына жарамдылығы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: Шу-Иле рудалық белдеуі, Жельтау массиві, гранитоидтар, геологиялық процестер, құрылыс материалдары, физика-механикалық қасиеттер.

Geology of the Jeltau intrusive massif granites and prospects of their application in the construction industry

Abstract. The Chu-Ili ore belt represents one of the unique geological structures of Central Asia, where granitoid rocks of varying compositions and ages are developed including Jeltau massive. These rocks play a key role as a source of construction materials, which requires detailed studies of their genesis and properties. This article presents the results of research on the geological processes that led to the formation of the granitoids in the Chu-Ili ore belt and their impact on the physical and mechanical properties of the rocks used in the construction industry. Key parameters such as strength, porosity, and resistance to external factors are analyzed, allowing conclusions to be drawn regarding the suitability of these granitoids for various types of building materials.

Key words: Chu-Ili ore belt, Jeltau massive, granitoids, geological processes, construction materials, physical and mechanical properties.

Введение

Гранитоиды являются одним из наиболее распространенных магматических комплексов. Они широко используются в строительной отрасли, благодаря высокой прочности, долговечности и устойчивости к атмосферным воздействиям. Шу-Илеский рудный пояс, расположенный в южной части Казахстана, представляет собой уникальный регион, где гранитоидные интрузии имеют большое распространение и промышленное значение [1]. Однако для эффективного применения гранитов в строительстве необходимо глубокое понимание геологических процессов, повлиявших на формирование их петрографического состава и физико-механических свойств. Целью данной работы является изучение геологии гранитов Жельтауского массива Шу-Илеского пояса, анализ их трещиноватости и физико-механических свойств для использования в различных видах строительства [2–4]. Для этих целей нами были проведены полевые маршруты с изучением интенсивности трещиноватости и с отбором штучных проб с Жельтауского интрузивного массива.

В целом, совокупность минералогических, текстурных и структурных особенностей, подтвержденная физико-механическими испытаниями, позволяет отнести гранитоиды Жельтауского массива к перспективным материалам для монолитного и декоративного строительства, при этом их применение соответствует повышенным требованиям к прочности и долговечности.

Методы исследования

Геологические процессы формирования гранитоидов Шу-Илеского рудного пояса

Тектоническая обстановка и магматизм

Шу-Илеский рудный пояс является частью Среднеазиатского складчатого пояса, который был сформирован в результате сложных тектонических процессов, связанных с коллизией и субдукцией древних литосферных плит. Основной этап магматизма, приведший к образованию гранитоидов, происходил в течение позднего палеозоя – раннего мезозоя. В результате различных тектонических режимов – от активной континентальной окраины до коллизии – образовались гранитоидные интрузии, включающие тоналиты, гранодиориты, граниты и диориты.

Гранитоиды Жельтауского интрузивного массива представляют собой продукт дифференцированной магматической активности, которая происходила на фоне активного орогенеза. Формирование данных пород связано с плавлением базальтового слоя континентальной коры под воздействием нарастающих тектонических напряжений. В результате этого процесса происходило выделение богатых кремнеземом магм, которые постепенно кристаллизовались, образуя гранитоидные интрузии.

Изучение трещиноватости

По элементам залегания и морфологическим признакам на гранитном массиве выделено семь систем трещин, из которых с I по VI системы – крутопадающие, и VII – пологий.

Блокообразующими из этих систем трещин были приняты: по 3 и 4 площадкам – системы IV и V. Морфология этих систем трещин – прямолинейные, тонкие, сомкнутые или заполненные глинистым материалом, иногда отмечается их прерывистость по простиранию. Стенки трещин чаще ровные, реже мелкоступенчатые. Седьмая система (VII), будучи пологой и слабо выраженной в пространстве, не отображена на диаграмме, но подтверждена визуальными наблюдениями (рис. 1).

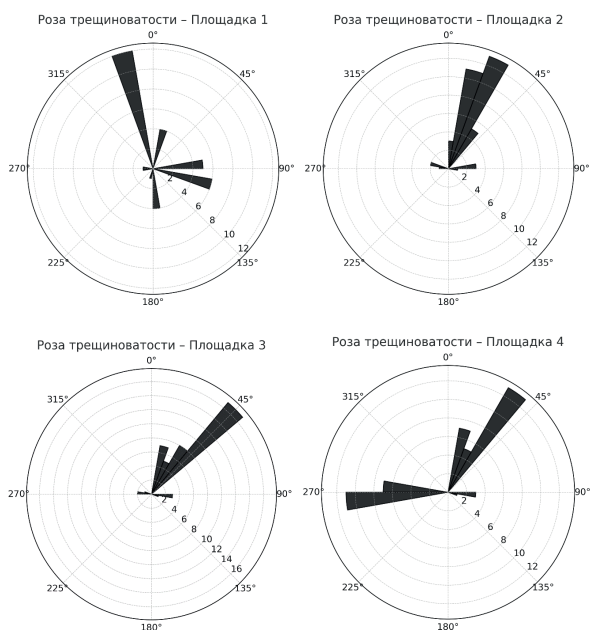


Рис. 1. Роза трещиноватости гранитов Жельтауского массива.

Сурет 1. Жельтау массивінің гранитінің жарықшақтылық раушаны.

Figure 1. The fracture pattern of the granites of the Jeltau massif.

Подводя итог по анализу трещиноватости гранитов Жельтауского интрузивного массива, следует отметить, что характер трещиноватости гранитов является благоприятным для добычи блочного камня.

Результаты

Минеральный состав и текстура гранитоидов

Минеральный состав гранитоидов Жельтауского массива варьируется от бедных на мафические минералы до обогащенных калием и натрием типов. Основные минералы включают кварц, полевые шпаты (плагиоклаз, микроклин), биотит и амфиболы. Текстурные особенности гранитоидов, такие как зернистость и ориентация минералов, свидетельствуют о нескольких стадиях кристаллизации магмы и возможных постмагматических изменениях под воздействием региональных тектонических процессов (рис. 2–4).

Цвет пород светло-серо-розовый, текстура массивная, структура полнокристаллическая, равномернозернистая, крупнозернистая. Микроструктура гипидиоморфнозернистая, гранитная, местами пойкилитовая.

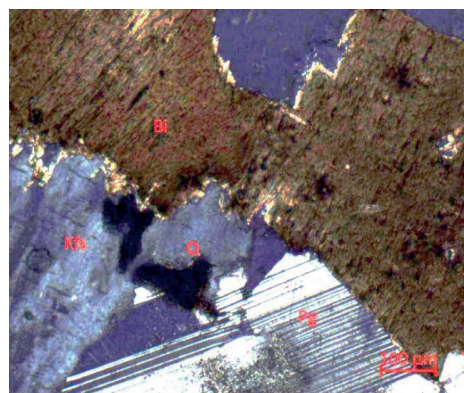


Рис. 2. Биотит-роговообманковый гранит в скрещенных николях, 10X.

Сурет 2. Айқасқан никольдағы биотит-мүйіздалдамша гранит, 10X.

Figure 2. Biotite-hornblende granite in crossed nichols, 10X.

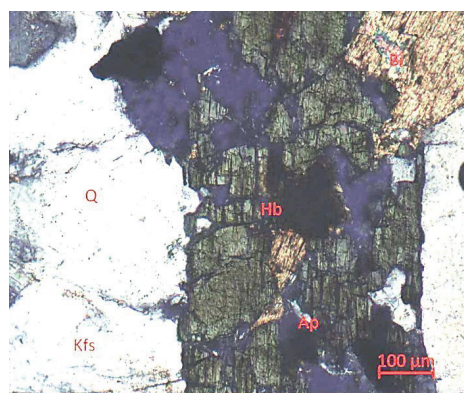


Рис. 3. Биотит-роговообманковый гранит в скрещенных николях, 10X.

Сурет 3. Айқасқан никольдағы биотит-мүйіздалдамша гранит, 10X.

Figure 3. Biotite-hornblende granite in crossed nichols, 10X.

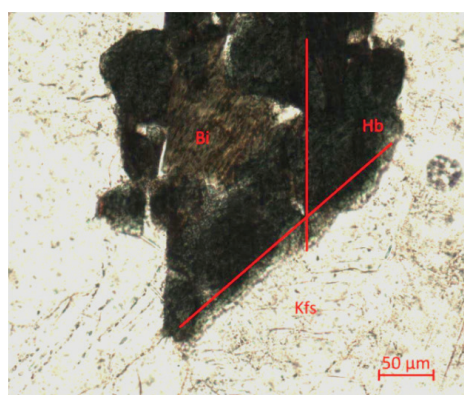


Рис. 4. Биотит-роговообманковый гранит в скрещенных николях, угол между направлениями спайности, по которому развивается биотит, 20X.

Сурет 4. Қиылысқан никольдердегі биотит-мүйіздалдамша гранит, биотит дамидың бөліну бағыттары арасындағы бұрыш, 20X.

Figure 4. Biotite-hornblende granite in crossed nichols, the angle between cleavage directions along which biotite develops, 20X.

Минеральный состав: главными минералами пород являются кварц (30%), калиевый полевой шпат (КПШ) (30%), плагиоклаз альбит (30%). Второстепенными минералами является биотит и амфибол, а также акцессорные минералы – рудные минералы, циркон.

Кварц по показателю преломления минерал, относится к IV группе, в шлифе бесцветен. Легко отличается от других минералов своей неправильной формой. Двупреломление низкое, цвет интерференции белый, спайность отсутствует. По кварцу вторичные минералы не образуются. Кварц в шлифе в подавляющем количестве встречается в основной массе и в промежутках между другими минералами породы, размеры его колеблются от 10 мкм до 1 мм.

КПШ по показателям преломления относятся ко II группе, двупреломление низкое, в шлифах цвет интерференции не выше серого, калинатровые шпаты образуются при различных температурах, и калиевый полевой шпат в породе представлен в основном в виде микроклина с альбит-периклиновыми сложными двойниками. В ортоклазах, которых отмечается небольшое количество, развивается пелитизация, в параллельных николях такие кристаллы как будто припыленные.

Плагиоклаз представлен минералом альбитом с тонкими полисинтетическими двойниками, кристаллы удлиненные призматические, по показателю преломления, т. е. по оптическим явлениям в одном николе, такие как рельеф, шагреньевая поверхность, полоска Бекке относится ко II группе (по Лодочникову), в шлифах бесцветны, имеют низкие цвета интерференции, наблюдаются двойники. Цвета интерференции даже в различных сечениях выше белого не встречаются. Полисинтетические двойники в скрещенных николях наблюдаются как параллельные между собой индивиды. Соседние индивиды, направления осей индикатрисы которых имеют различные наименования, имеют и различные углы погасания. В этом плагиоклазе углы погасания определяются как 10–12°. В этой породе плагиоклазы образуют правильные призмы, размеры в основном 100 мкм в основной массе и около более 2 мм в порфириновых выделениях.

Амфибол образует гипидиоморфные кристаллы преимущественно удлиненной призматической формы с отношением ширины к длине примерно равным 1:3. Продольные границы таких зерен обычно ровные, а поперечные – волнистые, зубчатые. Реже встречаются разрезы изометричной формы с неровными границами. Длина кристаллов данного минерала колеблется от 0,4 мм до 1,3 мм, преобладают зерна длиной около 1 мм. Минерал окрашен в зеленые тона и плеохроирует от желтовато-зеленого до буро-зеленого цвета. Зерна исследуемого минерала обладают совершенной спайностью в двух направлениях под углом 56° в поперечных разрезах. Оптический рельеф минерала средний положительный, т. е. его показатели преломления находятся в пределах 1,6–1,7. Максимальная интерференционная окраска минерала красная I порядка, т. е. его сила двулучепреломления $N_g - N_p = 0,019$. Минерал имеет косое погасание под углом 21° и положительное удлинение.

Биотит отмечается в шлифе до 10%, цвет минерала в параллельных николях зеленоватый, с включением мел-

ких зерен рудного минерала с темной каемкой вокруг кристаллов, циркона, апатита и сфена. Плеохроизм биотита ясный от зеленоватого до почти бесцветного, по показателям преломления он относится к IV–V группам. Двупреломление и показатели преломления изменчивы и зависят от количества железа, входящего в состав биотита. При возрастании содержания железа растут и показатели преломления, и величины двупреломления. Данный биотит близок к IV группе, имеет высокие цвета интерференции, совершенную спайность.

Циркон характерен для кислых и щелочных горных пород, он часто кристаллизуется в призматическом и дипирамидальном габитусе. В шлифах встречается в поперечном сечении в виде четырехугольников, в виде ромбов, в поперечном сечении он бывает в виде квадратов или восьмиугольников. По показателям преломления он относится к VII группе. В шлифах бесцветен, иногда бывает красноватым или буроватым. Ему характерен прямой угол погасания, положительное удлинение и высокий цвет интерференции. Кроме того, вокруг зерен циркона часто возникают темные зоны радиоактивного распада в биотите, горнбленде.

Рудный минерал отмечается в 3–4 зернах кубического габитуса, поблизости от биотитов или даже в них.

Микротекстурные исследования показывают, что большинство гранитоидов характеризуются крупнозернистой структурой с хорошо выраженными магматическими текстурами. Это указывает на их медленное кристаллизующееся происхождение на глубине, что способствует формированию устойчивых к внешним воздействиям пород.

Геологические условия формирования и петрографический состав горных пород являются определяющими их свойств, состояния и играют важную роль при выборе направления практического применения [5–11].

Влияние геологических процессов на свойства строительных материалов из гранитоидов

Для изучения физико-механических свойств были проведены лабораторные исследования в ТОО «ЦЛ «Геоаналитика» (таблица 1).

Физико-механические свойства гранитоидов

Гранитоиды Жельтауского массива демонстрируют высокие показатели прочности, что делает их идеальными кандидатами для использования в качестве строительного камня. Прочностные характеристики зависят от их минералогического состава и степени трещиноватости, которая обусловлена как тектоническими процессами, так и постмагматическими изменениями. Средняя прочность на сжатие составляет 40–50 МПа, что делает гранитоиды пригодными для использования в тяжелых строительных конструкциях, таких как мосты, дороги и здания.

Устойчивость к внешним воздействиям

Один из ключевых факторов, влияющих на долговечность строительных материалов, это их устойчивость к воздействиям окружающей среды, таким как замораживание и оттаивание, атмосферная эрозия и химические воздействия. Гранитоиды Жельтауского массива демонстрируют отличную морозостойкость и низкую пористость, что делает их устойчивыми к изменяющимся климатическим условиям. Эти свойства обусловлены высокой плот-

Таблица 1

Результаты сокращенного комплекса физико-механических испытаний гранитов участка «Жельтау-2»

Кесте 1

«Жельтау-2» бөлікшесі гранитін физикалық-механикалық сынаудың қысқартылған кешенінің нәтижелері

Table 1

Results of the shortened complex of physico-mechanical tests of samples of the «Jeltau-2» site

Показатель	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Среднее ± SD	n
Плотность, г/см ³	2.65	2.68	2.66	2.66 ± 0.015	3
Водопоглощение, %	0.52	0.58	0.55	0.55 ± 0.03	3
Прочность на сжатие, МПа	49.0	50.5	48.5	49.3 ± 1.0	3

Примечание: прочность переведена из кгс/см² в мегапаскали (1 кгс/см² = 0.09807 МПа)

ностью и низкой водопоглощаемостью пород, которая в среднем составляет 0.55%.

Технологические особенности обработки гранитоидов

Гранитоиды, благодаря своей кристаллической структуре и однородности, легко поддаются механической обработке, что позволяет использовать их в производстве высококачественных облицовочных материалов и строительных блоков. Дополнительным преимуществом является их эстетический внешний вид, обусловленный наличием различных цветовых оттенков, что делает гранитоиды популярным материалом в декоративной архитектуре.

Потенциальное применение гранитоидов в строительной отрасли

С учетом высоких физико-механических свойств и устойчивости гранитоидов Шу-Илеского рудного пояса, можно выделить несколько основных направлений их применения в строительстве:

- *Дорожное строительство:* гранитоиды могут использоваться для производства асфальтобетона, гравийных покрытий, а также в качестве строительного щебня.

- *Возведение монолитных конструкций:* высокая прочность и низкая пористость делают гранитоиды идеальными для использования в массивных бетонных сооружениях и конструкциях.

- *Облицовка зданий:* эстетические и физические качества гранитоидов позволяют их использовать в архитектуре и дизайне зданий.

Обсуждение

Физико-механические характеристики гранитоидов Жельтауского массива находятся в прямой зависимости от их петрографических особенностей. Низкий уровень водопоглощения и высокая плотность указывают на однородную, плотную структуру с малым количеством пор. Крупнозернистая структура и полнокристаллическая текстура обеспечивают высокие прочностные показатели, что делает данные породы пригодными для использования в строительстве.

Трещиноватость играет ключевую роль в формировании прочности. Наиболее благоприятными являются

участки с развитием сомкнутых, прямолинейных трещин, что способствует получению крупных блоков. Однако наличие прерывистых трещин с заполнением глинистым материалом может локально снижать прочность.

Сравнение с гранитами Восточно-Казахстанского региона показывает, что значения плотности (2.64–2.68 г/см³) и прочности (45–55 МПа) аналогичны, однако водопоглощение у Жельтауских пород ниже, что может быть связано с меньшей микротрещиноватостью.

Согласно нормативам ГОСТ 9479-2011 и EN 12371, предел прочности более 40 МПа и водопоглощение менее 0.6% позволяют отнести исследуемые гранитоиды к высококачественным строительным материалам. Отдельные отклонения в прочности между образцами могут быть обусловлены различиями в текстуре и содержании вторичных минералов.

Таким образом, результаты подтверждают высокую пригодность гранитоидов Жельтауского массива для различных направлений строительства и рекомендуют их к дальнейшему промышленному использованию.

Заключение

Гранитоиды Жельтауского массива представляют собой уникальный природный ресурс с отличными строительными характеристиками. Геологические процессы их формирования, включая магматические и постмагматические изменения, способствовали созданию пород с высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к внешним факторам. В результате гранитоиды этого региона имеют значительный потенциал для применения в различных областях строительства, что делает их важным объектом для дальнейшего изучения и разработки.

Благодарность

Данная статья финансировалась Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту AP27511149 «Геолого-минералогические исследования гранитоидов Казахстана как источников редких металлов для восполнения их ресурсов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чу-Илийский рудный пояс. Полезные ископаемые. Нерудные полезные ископаемые: Алма-Ата, Наука, 1979. 152 с. (на русском языке)
2. Байбатша А.Б. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых с основами геоинформатики. Монография: Алматы, Ғылым, 2003. 320 с. (на русском языке)
3. Иванов В.И., Сидорова Н.А. Геология и минералогия гранитоидов Чу-Илийского рудного пояса: Алматы, КазНУ, 2018. 152 с. (на русском языке)
4. Jones B., Smith C. Петрология и геохимия Шу-Илеских гранитов: значение для их использования в строительстве // *Geological journal*. 2020. № 48 (2). С. 225–239 (на английском языке)
5. Baibatsha A., Mamanov Y., Bekbotayev A. Выделение перспективных месторождений руд на территориях Шу-Илеского пояса по материалам дистанционного зондирования // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 2016. С. 35–41 (на английском языке)
6. Об использовании данных дистанционного зондирования для изучения геологического строения и прогноза минеральных ресурсов Шу-Илеской сутуры / Baibatsha A. [и др.] // *Mining of Mineral Deposits*. 2024. № 18 (4). С. 56–70 (на английском языке)
7. Геомеханическая оценка месторождений полезных ископаемых на основе 3D-моделирования / Baibatsha A.B. [и др.] // *Eurasian Mining*. 2024. № 41 (1). С. 28–32 (на английском языке)
8. Baibatsha A., Otarova G., Shakirova G. Инновационные технологии прогнозирования минеральных ресурсов на исследуемых территориях // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 2019. № 19 (1.1). С. 271–278 (на английском языке)
9. Baibatsha A. Связь палеозоидов и месторождений полезных ископаемых Казахстана с палеозойским суперплюмом // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 2017. № 17 (1.1). С. 479–485 (на английском языке)
10. Байбатша А.Б. Плюм-тектоническая природа геологических структур и геодинамики территории Казахстана // *ГеоБайкал 2016*, Иркутск, 2016. С. 1–6 (на русском языке)
11. Богданов К.А., Беспалов В.А. Минералогия: Практикум по определению минералов в шлифах: Екатеринбург, УГГУ, 2011 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шу-Іле кен белдеуі. Пайдалы қазбалар. Кенді емес пайдалы қазбалар: Алматы, Ғылым, 1979. Б. 152 (орыс тілінде)
2. Байбатша А.Б. Геоинформатика негіздерімен пайдалы қазбалар кен орындарының инженерлік геологиясы. Монография: Алматы, Ғылым, 2003. Б. 320 (орыс тілінде)
3. Иванов В.И., Сидорова Н.А. Шу-Іле кен белдеуінің гранитоидтарының геологиясы және минералогиясы: Алматы: ҚазҰУ, 2018. Б. 152 (орыс тілінде)
4. Jones B., Smith C. Шу-Іле граниттерінің петрологиясы және геохимиясы: оларды құрылыста қолданудың маңызы // *Геологиялық журнал*. 2020. № 48 (2). Б. 225–239 (ағылшын тілінде)
5. Baibatsha A., Mamanov Y., Bekbotayev A. Материалдарды қашықтықтан зондтау бойынша Шу-Іле белдеуінің учаскелеріне перспективалық кендерді бөлу // *Халықаралық Көпсалалы Ғылыми Геоконференция: SGEM*, 2016. Б. 35–41 (ағылшын тілінде)
6. Шу-Іле сутурасының геологиялық құрылымын зерттеу және минералды ресурстарын болжау үшін қашықтықтан зондтау деректерін пайдалану туралы / Baibatsha A. [және т. б.] // *Пайдалы қазбалар кен орындарын өндіру*. 2024. № 18 (4). Б. 56–70 (ағылшын тілінде)
7. 3d модельдеу негізінде пайдалы қазбалар кен орындарын геомеханикалық бағалау / Baibatsha A.B. [және т. б.] // *Еуразиялық тау-кен өндірісі*. 2024. № 41 (1). Б. 28–32 (ағылшын тілінде)
8. Baibatsha A., Otarova G., Shakirova G. Қамтылған аумақтардағы минералды ресурстарды болжаудың инновациялық технологиялары // *Халықаралық Көпсалалы Ғылыми Геоконференция: SGEM*, 2019. № 19 (1.1). Б. 271–278 (ағылшын тілінде)
9. Baibatsha A. Қазақстанның палеозоидтар мен пайдалы қазбалар кен орындарының палеозой суперплюмімен байланысы // *Халықаралық Көпсалалы Ғылыми Геоконференция: SGEM*, 2017. № 17 (1.1). Б. 479–485 (ағылшын тілінде)
10. Байбатша А.Б. Қазақстан аумағының геологиялық құрылымдары мен геодинамикасының плюм-тектоникалық табиғаты // *ГеоБайкал 2016*. Иркутск, 2016. Б. 1–6 (орыс тілінде)
11. Богданов К.А., Беспалов В.А. Минералогия: шлифтердегі минералдарды анықтау бойынша практикум: Екатеринбург, УГГУ, 2011 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Chu-Iliiskii rudnyi poyas. Poleznye iskopaemye. Nerudnye poleznye iskopaemye [The Chu-Ili ore belt. Minerals. Non-metallic minerals], Almaty, Nauka, 1979. 152 p. (in Russian)

2. Baibatsha A.B. *Inzhenernaya geologiya mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh s osnovami geoinformatiki. Monografiya [Engineering geology of mineral deposits with the basics of geoinformatics. The monograph]*, Almaty, Gylym, 2003. 320 p. (in Russian)
3. Ivanov V.I., Sidorova N.A. *Geologiya i mineralogiya granitoidov Chu-Iliiskogo rudnogo poyasa [Geology and mineralogy of granitoids of the Chu-Ili ore belt.]*, Almaty: KazNU, 2018. 152 p. (in Russian)
4. Jone B., Smith C. *Petrology and geochemistry of Chu-Ili granites: significance for their use in construction // Geological journal. 2020. No. 48 (2). 225–239 pp. (in English)*
5. Baibatsha A., Mamanov Y., Bekbotayev A. *Allocation of perspective ores on the areas Shu-Ile belt on the materials remote sensing // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 2016. 35–41 pp. (in English)*
6. *On the use of remote sensing data to study the geological structure and forecast mineral resources of the Shu-Ile suture / Baibatsha A. [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2024. No. 18 (4). 56–70 pp. (in English)*
7. *Geomechanical assessment of mineral deposits based on 3D modeling / Baibatsha A.B. // Eurasian Mining. 2024. No. 41 (1). 28–32 pp. (in English)*
8. Baibatsha A., Omarova G., Shakirova G. *Innovative technologies of mineral resources prediction on covered territories // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 2019. No. 19 (1.1). 271–278 pp. (in English)*
9. Baibatsha A. *Relationship of paleozooids and mineral deposits of Kazakhstan with the paleozoic superplume // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 2017. No. 17 (1.1). 479–485 pp. (in English)*
10. Baibatsha A.B. *Pljum-tektonicheskaja priroda geologicheskikh struktur i geodinamiki territorii Kazahstana [Plume-tectonic nature of geological structures and geodynamics of the territory of Kazakhstan], GeoBajkal 2016 [GeoBaikal 2016], Irkutsk, 2016. 1–6 pp. (in Russian)*
11. Bogdanov K. A., Bepalov V. A. *Mineralogiya: Praktikum po opredeleniyu mineralov v shlifakh [Mineralogy: A practical guide to the determination of minerals in rocks], Ekaterinburg, UGGU, 2011 (in Russian)*

Сведения об авторах:

Раис С.Е., докторант кафедры «Геология», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), sayat.r@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-2386-1857>

Пак Н.Т., канд. геол.-минер. наук, зав. лабораторией металлогении и рудообразования Института геологии им. М.М. Адышева НАН КР (г. Бишкек, Кыргызстан), geol_kg@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9961-0962>

Кембаев М.К., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Геология», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), k.maksat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5069-9399>

Амантаев А.К., магистр, мл. научный сотрудник кафедры «Геология», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), abylay.amantayev99@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-9112-5882>

Авторлар туралы мәліметтер:

Раис С.Е., «Геология» кафедрасының докторанты, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Пак Н.Т., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, Металлогения және рудажаралу зертханасының жетекшісі ҚР ҰҒА М.М. Адышев атындағы Геология институты (Бішкек қ., Қырғызстан)

Кембаев М.К., Ph.D докторы, «Геология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Амантаев А.К., «Геология» кафедрасының магистры, кіші ғылыми қызметкер, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Rais S.E., Doctoral student of the Geology department, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Pak N.T., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Metallogeny and Ore Formation of the M.M. Adyshev Institute of Geology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic (Bishkek, Kyrgyzstan)

Kembayev M.K., Ph.D, Associate Professor of the Geology department, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Amantayev A.K., Master, junior research assistant of the Geology department, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 38.17.17

*А.А. Рагданова¹, И.Е. Матайбаева¹, Г.Б. Оразбекова², А. Долгополова³¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан),²Shakarim University (г. Семей, Казахстан),³Центр Российских и Среднеазиатских минеральных исследований (CERCAMS) Музея естественной истории (г. Лондон, Великобритания)

УТОЧНЕНИЕ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОГО УЧАСТКА КАРГОБА

Аннотация. В статье рассмотрены геолого-структурные особенности и перспективы выявления медно-молибденового оруденения на Юго-Восточном участке Каргоба (Абайская область, Казахстан). Представлены результаты аэромагнитной съемки и электроразведки методом вызванной поляризации («диполь-диполь»), обработанных с использованием Octopus Pro, ZONDRES2D, Surfer и Voxler. По данным аномалий магнитного поля, сопротивления и поляризуемости выделены локальные рудоносные зоны, связанные с гранодиоритовыми интрузиями и зонами гидротермальных изменений. Установлена зональность оруденения и перспективные участки для бурения. Полученные результаты позволяют уточнить структуру рудной системы и обосновать рекомендации для дальнейших поисково-оценочных и разведочных работ.

Ключевые слова: медно-молибденовое оруденение, аэромагнитная съемка, вызванная поляризация, гранодиоритовые интрузии, геофизическая интерпретация, прогноз рудных зон, минеральные ресурсы Каргоба.

Каргоба оңтүстік-шығыс учаскесінің мыс-молибденді кенденуін анықтаудың геологиялық-құрылымдық ерекшеліктері мен перспективаларын нақтылау

Андатпа. Мақалада Қазақстанның Абай облысындағы Каргоба учаскесінің Оңтүстік-Шығыс бөлігіндегі мыс-молибден кен орындарын анықтаудың геологиялық-құрылымдық ерекшеліктері мен келешегі қарастырылады. Аэромагниттік түсіру және «диполь-диполь» нұсқасындағы индукцияланған поляризация әдісімен жүргізілген электрбарлау нәтижелері ұсынылған. Octopus Pro, ZONDRES2D, Surfer және Voxler бағдарламалық кешендері арқылы деректер өңделіп, магнит өрісі, электрлік кедергі және поляризуемдік аномалиялары бойынша гранодиорит интрузияларымен және гидротермальды өзгерістер аймақтарымен байланысты кенді аймақтар анықталды. Кенденудің аумақтық таралу заңдылықтары айқындалды және бұрғылауға қолайлы перспективалық учаскелер ұсынылды. Алынған нәтижелер кен жүйесінің құрылымын нақтылауға және одан әрі іздеу-бағалау және барлау жұмыстарына арналған ұсыныстарды негіздеуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: мыс-молибден кентасты аймағы, аэромагниттік түсіру, индукцияланған поляризация, гранодиорит интрузиялары, геофизикалық түсіндіру, рудалық зоналарды болжау, Каргоба минералдық ресурстары.

Clarification of geological and structural features and prospects for the discovery of copper-molybdenum mineralization in the southeastern Kargoba area

Abstract. The article examines the geological and structural features and the prospects for identifying copper-molybdenum mineralization in the Southeastern part of the Kargoba area (Abai Region, Kazakhstan). It presents the results of aeromagnetic surveying and electrical prospecting using the induced polarization method in the «dipole-dipole» configuration. The data were processed using Octopus Pro, ZONDRES2D, Surfer, and Voxler software. Based on anomalies in the magnetic field, resistivity, and chargeability, ore-bearing zones associated with granodiorite intrusions and hydrothermal alteration zones were identified. The spatial distribution patterns of mineralization were determined, and prospective sites for drilling were proposed. The results obtained make it possible to clarify the structure of the ore system and justify recommendations for further exploration and evaluation work.

Key words: copper-molybdenum mineralization, aeromagnetic survey, induced polarization, granodiorite intrusions, geophysical interpretation, ore zone prediction, Kargoba mineral resources.

Введение

В административно-территориальном отношении участок рудопоявления Каргоба относится к Аксуатскому району области Абай Республики Казахстан [1].

Участок рудопоявления Каргоба находится в пределах листа масштаба 1:25 000 L-44-22-A-а и занимает площадь 25,5 кв. км (8,5 x 3 км). Участок расположен на обоих берегах реки Каргоба у выхода ее из гор Жарма в долину озера Зайсан. Участок характеризуется сильно расчлененным горным рельефом с абсолютными отметками от 800 м до 1013,1 м (г. Сандыктас) над уровнем моря и относительными превышениями гор над долинами 50–120 м [2, 3].

Климатические условия в целом соответствуют резко континентальному климату с холодной и морозной зимой, жарким летом. Количество осадков в год возрастает с повышением рельефа. В равнинной части снеговой покров появляется в конце октября, в горной – в конце сентября; снег сходит в равнинных областях – в начале апреля и в горных – в конце мая – июне. Величина снежного покрова на равнинных частях составляет 0,5–0,7 м, в горных достигает 0,5–2 м.

Ландшафтные условия проведения работ на участке рудопоявления Каргоба иллюстрирует фотография местности, представленная на рис. 1.

Материал и методы

Методика работ ВП ДП-ДП

При проведении электроразведочных работ методом ВП по схеме ДП-ДП (диполь-диполь) применялась следующая схема наблюдений (рис. 2).

Расстояние между питающими электродами АВ – 200 м; ВМ – 100 м; расстояние между приемными электродами MN – 50 м; M1N1 – 50 м; M2N2 – 50 м; M3N3 – 50 м; M4N4 – 100 м; M5N5 – 100 м; M6N6 – 100 м; M7N7 – 100 м. Шаг наблюдений по профилям 50 м.

Измерительная аппаратура метода ВП ДП-ДП

В качестве регистратора сигнала применялся многоканальный электроразведочный измеритель «ИМВП-8», предназначенный для проведения работ методом вызванной поляризации (ВП) в частотной и/или временной области. Также он может применяться при проведении работ методами постоянного тока (сопротивлений) и частотного

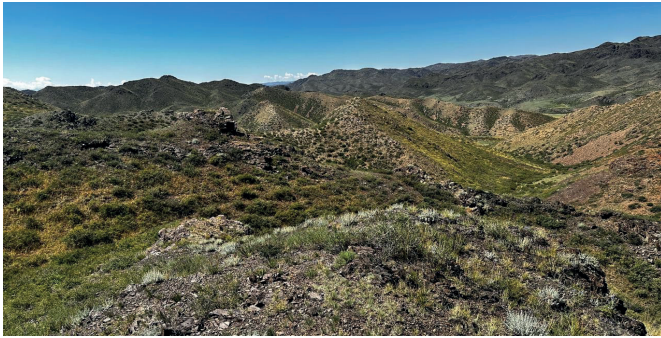


Рис. 1. Рельеф юго-восточной части участка.
Сурет 1. Учаскенің оңтүстік-шығыс бөлігінің рельефі.
Figure 1. Relief of the southeastern part of the site.

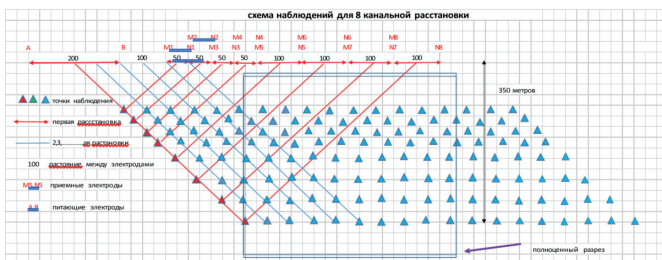


Рис. 2. Схема наблюдений для 8-канальной расстановки.
Сурет 2. 8 арнаны орналастыруға арналған бақылау сұлбасы.
Figure 2. The observation scheme for the 8-channel arrangement.

зондирования (ЧЗ). Измеритель «ИМВП» одновременно регистрирует сигнал с 8-ми приемных линий. Оптимально использование ИМВП в установках «срединный градиент» и «диполь-диполь».

В качестве генератора применялся электроразведочный генератор «ВП-1000». Электроразведочный генератор ВП-1000 транспортировался по профилю вручную. Регистрация полевой записи производилась на полевом компьютере с помощью программы Octopus Registrar. Метрологические характеристики используемой аппаратуры соответствуют требованиям геофизических исследований. Измеритель «ИМВП-8» обеспечивает регистрацию сигналов в диапазоне от микровольтов до вольтов при относительной погрешности не более $\pm 2-3\%$. Генератор «ВП-1000» стабильно работает в диапазоне токов до 5 А с погрешностью выходного сигнала менее $\pm 1\%$. Указанные параметры гарантируют достаточную точность и воспроизводимость результатов полевых наблюдений.

Обработка данных ВП ДП-ДП

При обработке полевых данных на начальном этапе использовалась программа Octopus Pro [4], разработанная ООО «Северо-Запад» (Россия). При интерпретации материалов применялась программа ZONDRES2D [5] (г. Санкт-Петербург, Россия). Программа ZONDRES2D предназначена для 2,5-мерной интерпретации профильных данных путем электротомографии разреза сопротивления и поляризуемости. Удобный интерфейс и широкие возможности представления данных позволяют макси-

мально эффективно решить поставленную геологическую задачу. С помощью этой программы была произведена двумерная инверсия сопротивления и поляризуемости. В результате чего, с помощью программы Surfer были построены геоэлектрические модели сопротивления и поляризуемости.

Путем использования программы VoxlerSYkarg была построена трехмерная модель полученных результатов (рис. 3), а также срезы параметров сопротивления (рис. 4а) и поляризуемости (рис. 4б) [6].

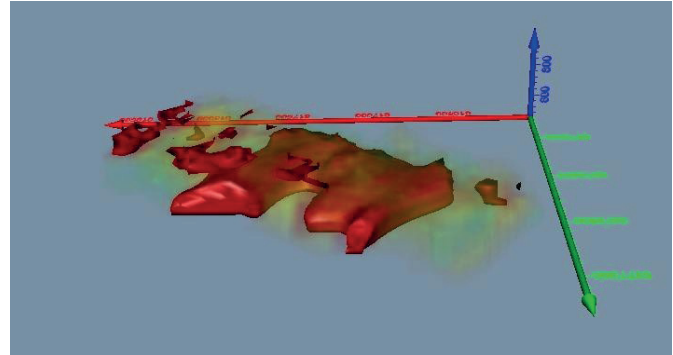


Рис. 3. Трехмерная модель Log Rho.
Сурет 3. Log Rho үш өлшемді моделі.
Figure 3. Log Rho three-dimensional model.

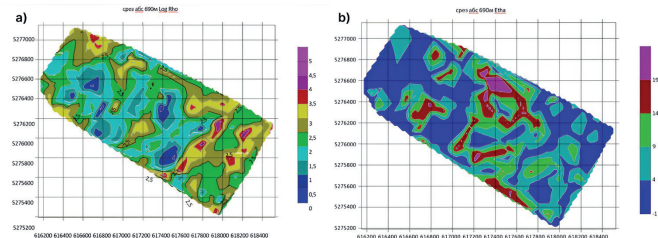


Рис. 4. а) срез Log Rho по $H = 690$ м; б) срез Ehta по $H = 690$ м.
Сурет 4. а) Log Rho кесіндісі $H = 690$ м; б) Ehta кесіндісі $H = 690$ м.
Figure 4. а) Log Rho section at $H = 690$ m; б) Ehta section at $H = 690$ m.

Результаты

Аэромагнитная съемка

При истолковании результатов съемки АМС, нами использованы полученные растровые изображения горизонтальных срезов геомагнитной модели на глубинах 50 м, 100 м, 200 м и 400 м, иллюстрирующие изменение размеров аномалиеобразующих объектов, их интенсивность и затухание (выклинивание) с глубиной.

На рис. 5 показан горизонтальный срез геомагнитной модели по глубине $H = 50$ м, который, на наш взгляд, наиболее полно отражает характер рудно-геологической среды в магнитном поле. В качестве ориентира привязки для всех последующих карт использовано положение рудопроявления Восточная Каргоба по координатам, снятым с геологической карты [7].

Сравнение среза геомагнитной модели на глубине $H = 50$ м с геологической картой показывает классическую

модель магнитного поля медно-порфировой системы, выделенную нами окружностью черного цвета. Положительные линейные аномалии красного цвета, обрамляющие интрузивный центр медно-порфировой системы, отбивают эффузивные породы силурийского возраста, затронутые гидротермальным метасоматозом в районе рудопроявления, что вызвало повышение амплитуды магнитного поля [8, 9].

Рудообразующая диоритовая интрузия нижнего карбона отделилась отрицательными и положительными локальными аномалиями магнитного поля, отражая зональность, характерную для месторождений медно-порфировой системы при выходе рудной интрузии на дневную поверхность. На этой модели магнитного поля локальными отрицательными аномалиями фиксируются предполагаемые рудные зоны, а положительными аномалиями – места проявления пиритизации пород. Согласно такой интерпретации, нами выделены три аномальных зоны (1, 2, 3) в пределах выделенной окружности рудной системы, отмеченные на схеме цифрами белого цвета, которые представляют поисковый интерес. Аномалии № 1 и № 2 проявлены в экзоконтакте интрузии, а аномалия № 3 развита в зоне глубинного разлома, проявленного в теле интрузии.

Известное рудопроявление Восточная Каргоба отмечается в аномальной области отбивающая околорудные метасоматические породы (зона пиритизации) и с глубиной постепенно проявляется в аномальных зонах, интерпретируемых нами как рудные зоны (рис. 6 и 7).

Юго-западнее отмеченной системы наблюдается линейная аномалия № 4 северо-западного направления, которая, возможно, связана с более глубинным характером действия рудной системы, о чем свидетельствуют данные магнитного поля на срезах $H = 100$ м и $H = 200$ м [10], где эта аномальная зона соединяется с основными зонами в пределах интрузии (рис. 6 и 7). На рис. 6 и 7 отмечается постепенное затухание аномальной зоны 2 и соединение аномальных зон 3 и 4 в единую аномальную зону на срезе 200 м, что расширяет поисковые перспективы Юго-Восточного участка.

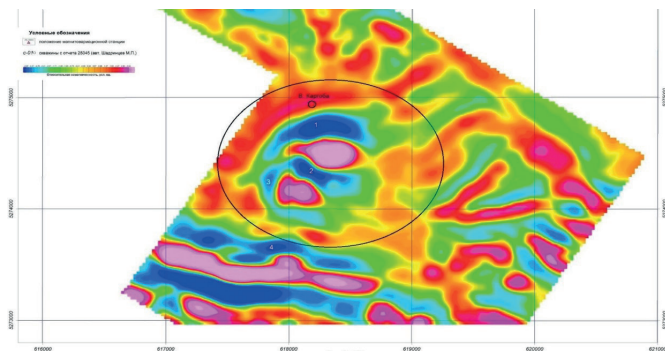


Рис. 5. Горизонтальный срез геомагнитной модели, $H = 50$ м.

Сурет 5. Геомагниттік модельдің көлденең қимасы, $H = 50$ м.

Figure 5. Horizontal section of the geomagnetic model, $H = 50$ м.

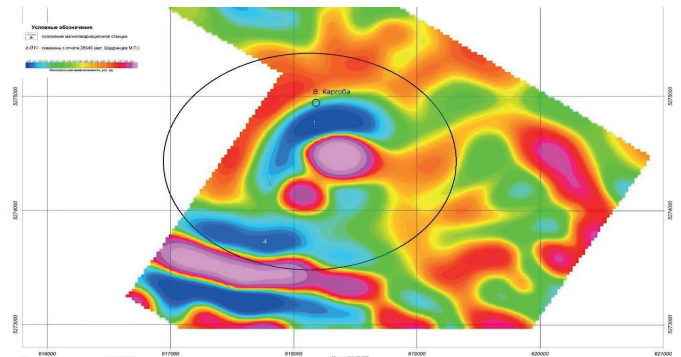


Рис. 6. Горизонтальный срез геомагнитной модели, $H = 100$ м.

Сурет 6. Геомагниттік модельдің көлденең қимасы, $H = 100$ м.

Figure 6. Horizontal section of the geomagnetic model, $H = 100$ м.

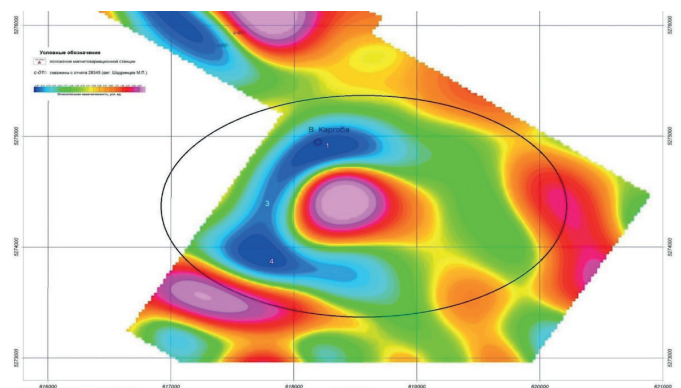


Рис. 7. Горизонтальный срез геомагнитной модели, $H = 200$ м.

Сурет 7. Геомагниттік модельдің көлденең қимасы, $H = 200$ м.

Figure 7. Horizontal section of the geomagnetic model, $H = 200$ м.

Таким образом, результаты АМС позволили выделить морфологию и направление рудной зоны, оценить элементы падения и выявить возможность наличия рудной зоны в пределах действия интрузивной системы.

Проведенные на участке электроразведочные работы методом ВП по схеме «диполь-диполь» позволили усилить однозначность результатов АМС.

Метод ВП ДП-ДП

На рис. 8 приведены срезы сопротивления пород и кажущейся поляризуемости по абсолютному уровню 790 м, что, в общем, соответствует усредненной глубине 50 м исходя из рельефа участка (рис. 9).

Карты среза метода ВП на этом уровне отличаются большей мозаичностью, что может указывать на интенсивное изменение верхней части разреза рудной зоны процессами окисления. Поэтому, для однозначности интерпретации данных метода ВП ДП-ДП на карту среза был перенесен контур предполагаемой медно-порфировой системы с карты АМС в виде окружности.

На карте сопротивления отмечаются зоны пониженного сопротивления и слабой поляризуемости внутри выделен-

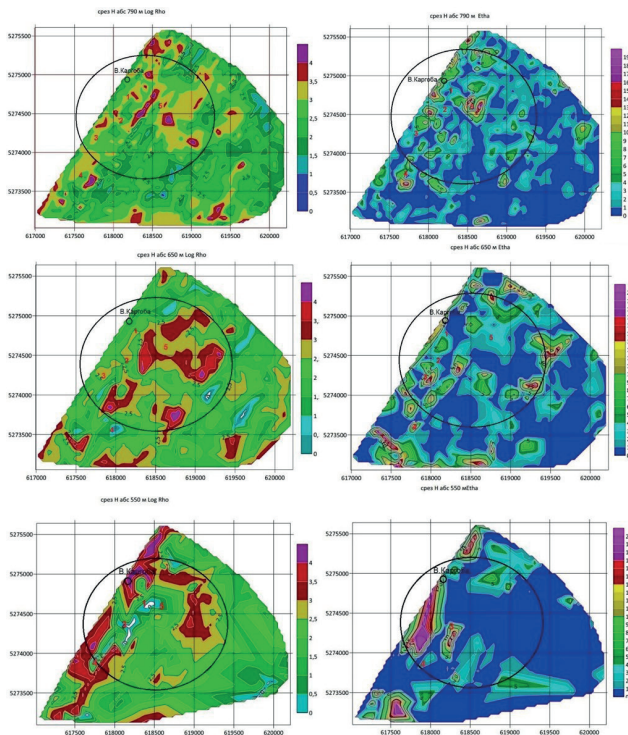


Рис. 8. Срезы поля ВР на абсолютном уровне 790 м, 650 м и 550 м.

Сурет 8. 790 м, 650 м және 550 м абсолютті деңгейдегі ЖП өрісінің кесінділері.

Figure 8. The sections of the VP field are at an absolute level of 790 m, 650 m and 550 m.

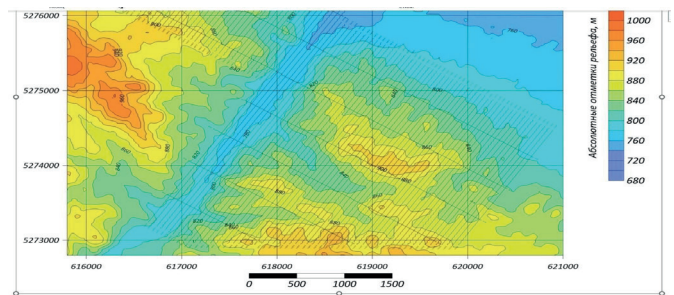
ного контура в районе рудопроявления Восточная Каргоба (рис. 8), которые можно увязать с рудной зоной (цифры красного цвета). В дополнение к магнитным данным по электроразведке была выделена аномальная зона № 5, которая проявляется в восточной части при контактовой зоне рудообразующей интрузии.

Более контрастная картина рудной зоны по сопротивлению и поляризуемости была получена по срезу $N = 650$ м (рис. 8). По положению слабоконтрастных аномалий пониженного сопротивления и поляризуемости отмечается их пространственное совпадение с локальными отрицательными аномалиями магнитного поля. Отсутствие характерной зональности обрамления рудной зоны аномалиями повышенного сопротивления в северо-западной части локальных рудных зон объясняется отсутствием съемки в указанной части площади.

По срезу на глубине 550 м (рис. 8), по значениям пониженного сопротивления выделены зоны № 1, № 2 и № 3. Зона № 5 объединилась с зоной № 1. В целом, указанные зоны проявлены в обрамлении высокоомных метасоматитов и можно отметить, что выделенная цепочка локальных аномалий, возможно, отбивает рудоподводящий канал.

По параметру поляризуемости отбиваются лишь отдельные блоки повышенной поляризуемости, увязываемые со вмещающими зонами пиритизации.

Сравнение срезов на разных уровнях (790 м, 650 м и 550 м) показывает, что наиболее контрастно аномальные зоны отбились аномалиями проводимости и



**Рис. 9. Карта рельефа участка.
Сурет 9. Участкенің жер бедері картасы.
Figure 9. Terrain map of the site.**

поляризуемости на уровне 650 м, что соответствует глубине 200 м и можно предположить, что на этой глубине находятся основные залежи медно-порфирового оруденения. Аналогично Северо-Западному участку, на Восточном участке отбиваются три зоны оруденения: верхняя – окисленная (до 50 м), средняя – основного оруденения (100–200 м) и нижняя – подстилающих околорудных метасоматитов (300 м).

Заклучение

В результате проведены полевые работы методом ВР в варианте «диполь-диполь». Проведена первичная обработка полученных данных, построены вертикальные разрезы сопротивления и поляризуемости. На основе использования результатов переосмысления данных АМС, выполненных ранее, была проделана интерпретация результатов метода ВР ДП-ДП по срезам на разных глубинах. Полученные локальные аномалии пониженного сопротивления и повышенной поляризуемости представляют поисковый интерес на обнаружение рудных залежей.

Выводы

В магнитном поле рудная интрузия Юго-Восточного участка Каргоба фиксируется локальными отрицательными аномалиями, обрамляющими рудоносное тело. Всего выделено три локальные аномалии и одна линейная отрицательная аномалия, которая на глубине объединяется с остальными в единую рудоносную зону.

Вмещающие метасоматиты проявляются положительными аномалиями магнитного поля, что подтверждает их связь с околорудными изменениями пород.

Зональность магнитного поля соответствует классической модели медно-порфировых месторождений, известной на ряде объектов Казахстана.

По данным метода ВР (диполь-диполь) аномальные зоны магнитного поля подтверждаются низкоомными значениями сопротивления и повышенной поляризуемостью. Дополнительно выделена новая аномалия № 5, связанная с восточной приконтактной частью интрузии.

Зоны метасоматоза характеризуются повышенными значениями сопротивления и поляризуемости в связи с процессами окварцевания и пиритизации.

На основании геофизических данных рекомендуется проверка каждой аномальной зоны бурением 2–3 скважин глубиной до 300 м.

Юго-Восточный участок Каргоба обладает высокой перспективностью на выявление промышленного медно-молибденового оруденения. Подтверждение рудных тел позволит существенно увеличить минерально-сырьевую базу региона. Освоение участка будет иметь эконо-

мическое значение: развитие горнодобывающей промышленности в Абайской области, создание рабочих мест, рост налоговых поступлений и повышение инвестиционной привлекательности геологоразведочного сектора Казахстана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шадринцев М.П. и др. Отчет о результатах маршрутных геолого-геофизических работ, выполненных на участке Тарбагатайском в 1974–1975 гг. (листы L-44-9-Г; L-21-Б-б, г; L-44-22-А-а, в). Алтайская КГГЭ, пос. Опытное поле, май 1976 г. (на русском языке)
2. Алимханов Н.К., Башкирцев А.М. и др. Отчет по объекту «Поисковые работы в пределах Восточного региона на перспективных площадях» за 2005–2007 гг. ТОО «ГРК «Топаз», г. Усть-Каменогорск, декабрь 2007 г. (на русском языке)
3. Дубинкин А.В., Ахматолла А.К., Ниязов А.В., Подковыров В.В. и др. Геологическое доизучение с оценкой прогнозных ресурсов листов L-44-V, XI, XVII (казахстанская часть). ТОО «Капчагайская геолого-производственная экспедиция», г. Алматы, декабрь 2016 г. (на русском языке)
4. Телфорд У.М., Гелдарт Л.П., Шериф Р.Э. Прикладная геофизика. 4-е изд. Кембридж: Изд-во Кембриджского университета, 2019. 770 с. (на английском языке)
5. Камински В., Вьеццоли А. Моделирование эффектов вызванной поляризации в данных аэрогеофизических исследований // Геофизика. 2017. Т. 82. № 2. С. Е31–Е50 (на английском языке)
6. Кокс Л., Смит Р., Аллен М. 3D-инверсия данных вызванной поляризации в целях геологоразведки // Минералы. 2023. Т. 13. № 6. С. 779 (на английском языке)
7. Коврижных П.Н. Отчет о результатах аэромагнитной съемки с применением БПЛА, выполненной в 2024 году на участке рудопоявления Каргоба в Абайской области Республики Казахстан. ТОО «Научно-производственный центр «ГЕОКЕН», г. Алматы, май 2024 г. (на русском языке)
8. Хагеманн С.Г., Лисицын В.А., Хастон Д.Л. Анализ минеральных систем: куда движемся? // Обзор геологии рудных месторождений. 2016. Т. 76. С. 504–522 (на английском языке)
9. Кван Т. Новые методы аэрогеофизики в поисках полезных ископаемых // Журнал прикладной геофизики. 2025. Т. 212. С. 104903 (на английском языке)
10. Йоргенсен М., Лю Ю., Чжан К. Комплексная интерпретация магнитных и электромагнитных данных для оценки порфировых систем // Минералы. 2024. Т. 14. № 11. С. 1130 (на английском языке)
11. Подковыров В.В. и др. Инженерно-геофизические работы на перспективной площади Каргоба: отчет. ТОО «Геокен», г. Алматы, 2023 г. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шадринцев М.П. және т. б. Тарбагатай учаскесінде 1974–75 жж. жүргізілген маршруттық геологиялық-геофизикалық жұмыстар нәтижелері туралы есеп (L-44-9-Г; L-21-Б-б, г; L-44-22-А-а, в парақтары). Алтай КГГЭ, Тәжірибе алаңы ауылы, 1976 ж. мамыр (орыс тілінде)
2. Алимханов Н.К., Башкирцев А.М. және т. б. «Шығыс аймағы шегіндегі перспективалық алаңдарда іздестіру жұмыстары» нысаны бойынша 2005–2007 жж. арналған есеп. «ГРК Топаз» ЖШС, Өскемен қ., 2007 ж. желтоқсан (орыс тілінде)
3. Дубинкин А.В., Ахматолла А.К., Ниязов А. В., Подковыров В.В. және т. б. L-44-V, XI, XVII парақтары бойынша болжамдық қорларды бағалай отырып, геологиялық қайта зерттеу (Қазақстан бөлігі). «Қапшагай геологиялық-өндірістік экспедициясы» ЖШС, Алматы қ., 2016 ж. желтоқсан (орыс тілінде)
4. Телфорд У.М., Гелдарт Л.П., Шериф Р.Э. Қолданбалы геофизика. 4-басылым. Кембридж: Кембридж университетінің баспасы, 2019. 770 б. (ағылшын тілінде)
5. Камински В., Вьеццоли А. Ауа арқылы жүргізілген зерттеулерде индуцирленген поляризация әсерлерін модельдеу // Геофизика. 2017. Т. 82. № 2. Б. Е31–Е50 (ағылшын тілінде)
6. Кокс Л., Смит Р., Аллен М. Индуцирленген поляризация деректерінің үшөлшемді инверсиясы – барлау мақсатында // Минералдар. 2023. Т. 13. № 6. Б. 779 (ағылшын тілінде)
7. Коврижных П.Н. 2024 жылы Абай облысындағы Қаргоба кенбелгісі учаскесінде ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалану арқылы жүргізілген аэромагниттік түсіру нәтижелері туралы есеп. «ГЕОКЕН» ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС, Алматы қ., 2024 ж. мамыр (орыс тілінде)
8. Хагеманн С.Г., Лисицын В.А., Хастон Д.Л. Минералды жүйелерді талдау: біз қайда бара жатымыз? // Кенді кен орындарының геологиясына шолу. 2016. Т. 76. Б. 504–522 (ағылшын тілінде)
9. Кван Т. Пайдалы қазбаларды іздеудегі әуе геофизикасының жаңа әдістері // Қолданбалы геофизика журналы. 2025. Т. 212. Б. 104903 (ағылшын тілінде)
10. Йоргенсен М., Лю Ю., Чжан К. Порфирлік жүйелерді бағалау үшін магниттік және электромагниттік мәліметтерді біріктірілген интерпретация // Минералдар. 2024. Т. 14. № 11. Б. 1130 (ағылшын тілінде)

11. Подковыров В.В. және т. б. Қарғоба перспективалық алаңында орындалған инженерлік-геофизикалық жұмыстар туралы есеп. «ГЕОКЕН» ЖШС, Алматы қ., 2023 ж. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Shadrintsev M.P. et al. Otchet o rezul'tatakh marshrutnykh geologo-geofizicheskikh rabot, vypolnennykh na uchastke Tarbagataiskom v 1974–1975 gg. (listy L-44-9-G; L-21-B-b, g; L-44-22-A-a, v). [Report on the results of route geological and geophysical work performed at the Tarbagatayskoye site in 1974–1975 (Sheets L-44-9-G; L-21-B-b, g; L-44-22-A-a, v)]. Altai KGGE, Experimental Field settlement, May 1976 (in Russian)
2. Alimkhanov N.K., Bashkirtsev A.M. et al. Otchet po ob"ektu «Poiskovye raboty v predelakh Vostochnogo regiona na perspektivnykh ploshchadiakh» za 2005–2007 gg. [Report on the object «Prospecting within the Eastern region in promising areas»]. LLP «GRK» «Topaz», Ust-Kamenogorsk, December 2007 (in Russian)
3. Dubinkin A.V., Akhmatolla A.K., Niazov A.V., Podkovyrov V.V. et al. Geologicheskoe doizuchenie s otsenkoi prognoznykh resursov listov L-44-V, XI, XVII (Kazakhstanskaia chast') [Geological survey with assessment of forecast resources of sheets L-44-V, XI, XVII (Kazakhstan part)]. Kapchagay Geological and Production Expedition LLP, Almaty, December 2016 (in Russian)
4. Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E. Applied Geophysics. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. 770 p. (in English)
5. Kaminski V., Viezzoli A. Modeling of induced polarization effects in airborne survey data // Geophysics. 2017. V. 82. No. 2. E31–E50 pp. (in English)
6. Cox L., Smith R., Allen M. 3D inversion of induced polarization data for exploration purposes // Minerals. 2023. V. 13. No. 6. 779 p. (in English)
7. Kovrizhnykh P.N. tchet o rezul'tatakh aeromagnetnoi s"emki s primeneniem BPLA, vypolnennoi v 2024 godu na uchastke rudoproyavleniya Kargoba v Abaiskoi oblasti Respubliki Kazakhstan [A report on the results of an aeromagnetic survey using unmanned aerial vehicles performed in 2024 at the Kargoba ore deposit in the Abai region of the Republic of Kazakhstan]. Research and Production Center «GEOKEN» LLP, Almaty, May 2024 (in Russian)
8. Hagemann S.G., Lisitsin V.A., Huston D.L. Mineral system analysis: Quo vadi? // Ore Geology Reviews. 2016. V. 76. 504–522 pp. (in English)
9. Kwan T. New methods of airborne geophysics in mineral exploration // Journal of Applied Geophysics. 2025. V. 212. 104903 p. (in English)
10. Jorgensen M., Liu Y., Zhang K. Integrated interpretation of magnetic and EM data for porphyry system assessment // Minerals. 2024. V. 14. No. 11. 1130 p. (in English)
11. Podkovyrov V.V. et al. Inzhenerno-geofizicheskie raboty na perspektivnoi ploshchadi Kargoba: otchet [Engineering and geophysical work on the prospective Kargoba area: report]. Geoken LLP, Almaty, 2023 (in Russian)

Сведения об авторах:

Разданова А.А., Ph.D докторант, ст. преподаватель школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), altynai.2492@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9138-2213>

Матайбаева И.Е., доктор Ph.D, ассоциированный профессор школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), indiramataibayeva@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0550-7591>

Оразбекова Г.Б., доктор Ph.D, ассоциированный профессор, Shakarim University (г. Семей, Казахстан), orazbekova@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4503-6838>

Долгополова А., доктор Ph.D, исследователь Центра Российских и Среднеазиатских минеральных исследований (CERCAMS) Музея естественной истории (г. Лондон, Великобритания), a.dolgopolova@nhm.ac.uk; <https://orcid.org/0000-0002-8567-4631>

Авторлар туралы мәліметтер:

Разданова А.А., Ph.D докторанты, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

Матайбаева И.Е., Ph.D докторы, Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

Оразбекова Г.Б., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессоры, Shakarim University (Семей қ., Қазақстан)

Долгополова А., Ph.D докторы, Зерттеуші, Табиғи тарих музейінің Ресей және Орталық Азия минералдық зерттеулер орталығы (CERCAMS) (Лондон қ., Ұлыбритания)

Information about the authors:

Ragdanova A.A., Ph.D doctoral student, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Mataibayeva I.E., Ph.D, Associate Professor at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Orazbekova G.B., Ph.D, Associate Professor, Shakarim University (Semey, Kazakhstan)

Dolgopolova A., Ph.D, Researcher at the Centre for Russian and Central Eurasian Mineral Studies (CERCAMS), Natural History Museum (London, United Kingdom)

Код МРНТИ 38.17.19:38.17.93

D.M. Baklagin¹, M.V. Lepyavko², M.V. Ponomareva³, *Ye.V. Ponomareva³¹Coal Department of JSC «Qarmet» (Karaganda, Kazakhstan),²Directorate for Special Mine Installation and Degasification of JSC «Qarmet» (Karaganda, Kazakhstan),³Non-Profit Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

STUDY OF THE TECTONICS OF THE PALEOZOIC STRATA OF THE BIDAİK ORE FIELD

Abstract. This article is dedicated to the study of tectonic and geological processes at the Bidaik Ore Field, located in the Ulytau district of the Karaganda region in Kazakhstan. Special attention is given to the role of tectonic disturbances in the formation of ore bodies and their industrial significance for the region. The objective is to study the geological structure and tectonic disturbances at the Bidaik Ore Field to assess its ore potential and industrial capacity. Research tasks include the analysis of tectonic structures influencing ore body localization, including faults and folded structures; the study of the stratigraphy of Paleozoic and Cenozoic deposits and their metamorphic changes; the application of a complex of geological-geophysical methods to clarify ore-bearing zones and assess their industrial significance.

Key words: Bidaik Ore Field, tectonic disturbances, polymetallic ores, stratigraphy, mineralization, Central Kazakhstan.

Бидайық кен кенірінің палеозой тізілігінің тектоникасын зерттеу

Аннотация. Мақала Қазақстанның Қарағанды облысының Ұлытау аймағында орналасқан Бидайық кен орнының тектоникалық және геологиялық процестерін зерттеуге арналған. Кен денелерінің түзілуіндегі тектоникалық бұзылулардың маңызына және олардың аймақ үшін өнеркәсіптік маңызына басты назар аударылады. Мақсаты – Бидайық кен орнының геологиялық құрылымы мен тектоникалық бұзылыстарын зерттеу, оның кен құрамы мен өндірістік әлеуетін бағалау. Ғылыми-зерттеу міндеттері: кен денелерінің локализациясына әсер ететін тектоникалық құрылымдарды, оның ішінде жарылымдар мен қатпарлы құрылымдарды талдау; палеозой және кайнозой шөгінділерінің стратиграфиясын және олардың метаморфтық өзгерістерін зерттеу; кенді аймақтарды нақтылау және олардың өндірістік маңызын бағалау үшін геологиялық-геофизикалық әдістер кешенін қолдану.

Түйінді сөздер: Бидайық кен орны, тектоникалық бұзылыстар, полиметалл кендері, стратиграфия, минералдану, Орталық Қазақстан.

Изучение тектоники палеозойских толщ Бидайского рудного поля

Аннотация. Статья посвящена исследованию тектонических и геологических процессов Бидайского рудного поля, расположенного в Улытауском районе Карагандинской области Казахстана. Основное внимание уделено значению тектонических нарушений в формировании рудных тел и их промышленной ценности для региона. Целью является исследование геологического строения и тектонических нарушений на Бидайском рудном поле для оценки его рудоносности и промышленного потенциала. Задачи исследования: анализ тектонических структур, влияющих на локализацию рудных тел, включая разломы и складчатые структуры; исследование стратиграфии палеозойских и кайнозойских отложений и их метаморфических изменений; применение комплекса геолого-геофизических методов для уточнения рудоносных зон и оценки их промышленной значимости.

Ключевые слова: Бидайское рудное поле, тектонические нарушения, полиметаллические руды, стратиграфия, минерализация, Центральный Казахстан.

Introduction

The Bidaik Ore Field is a large polymetallic deposit located in the Ulytau district of the Karaganda region, Central Kazakhstan. Geologically, the ore field is associated with tectonic fault zones trending northeast and northwest, which contribute to the localization of ore bodies. The main types of minerals include lead, zinc, and copper. The mineralization processes at the deposit are primarily associated with the circulation of fluids through fault structures, which led to the formation of ore bodies in fractured and deformed rocks.

The deposit is characterized by a high concentration of polymetals, which determines its economic importance for the region.

Methods of Investigation

A complex of geological-geophysical methods was used to map and study the geological features of the Bidaik Ore Field, allowing for the assessment of ore potential and tectonic structures. The main method applied was gold metric surveying, which helped identify areas with elevated gold and polymetallic concentrations, such as lead and zinc. This method helped define the contours of the ore bodies and evaluate their prospects for further development.

Magnetic prospecting and gravimetry were used to refine the structure of the Earth's crust and locate the ore bodies, helping to identify magnetic and density anomalies associated with the presence of metallic ores. These methods played a key role in interpreting tectonic disturbances and their impact on the ore zones [1].

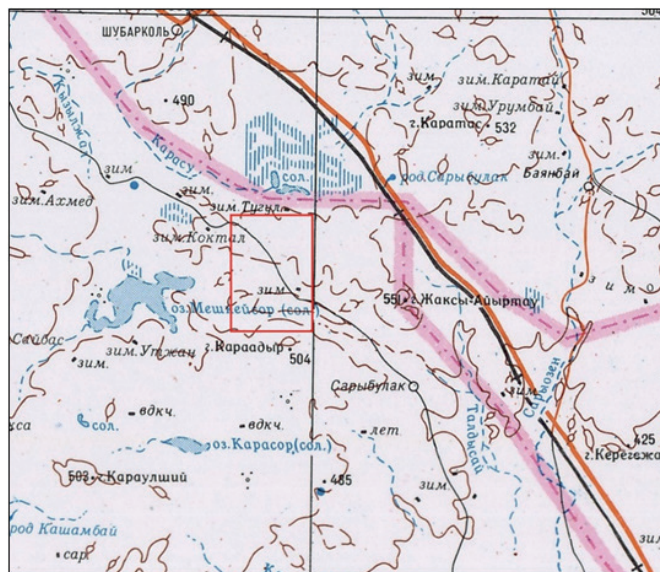


Figure 1. Overview map of the area.
Сурет 1. Ауданның шолу картасы.
Рис. 1. Обзорная карта района.

The induced polarization (IP) method was used to study the conductivity of rocks and identify areas with sulfide minerals, indicating deeper ore bodies. Electrical prospecting using the Frequency Domain Induced Polarization method (IP-FDP) was carried out in an areal configuration with a 100 x 20 m grid along pre-established profiles. The total volume of IP-FDP surveys amounted to 23,625 linear meters, including a

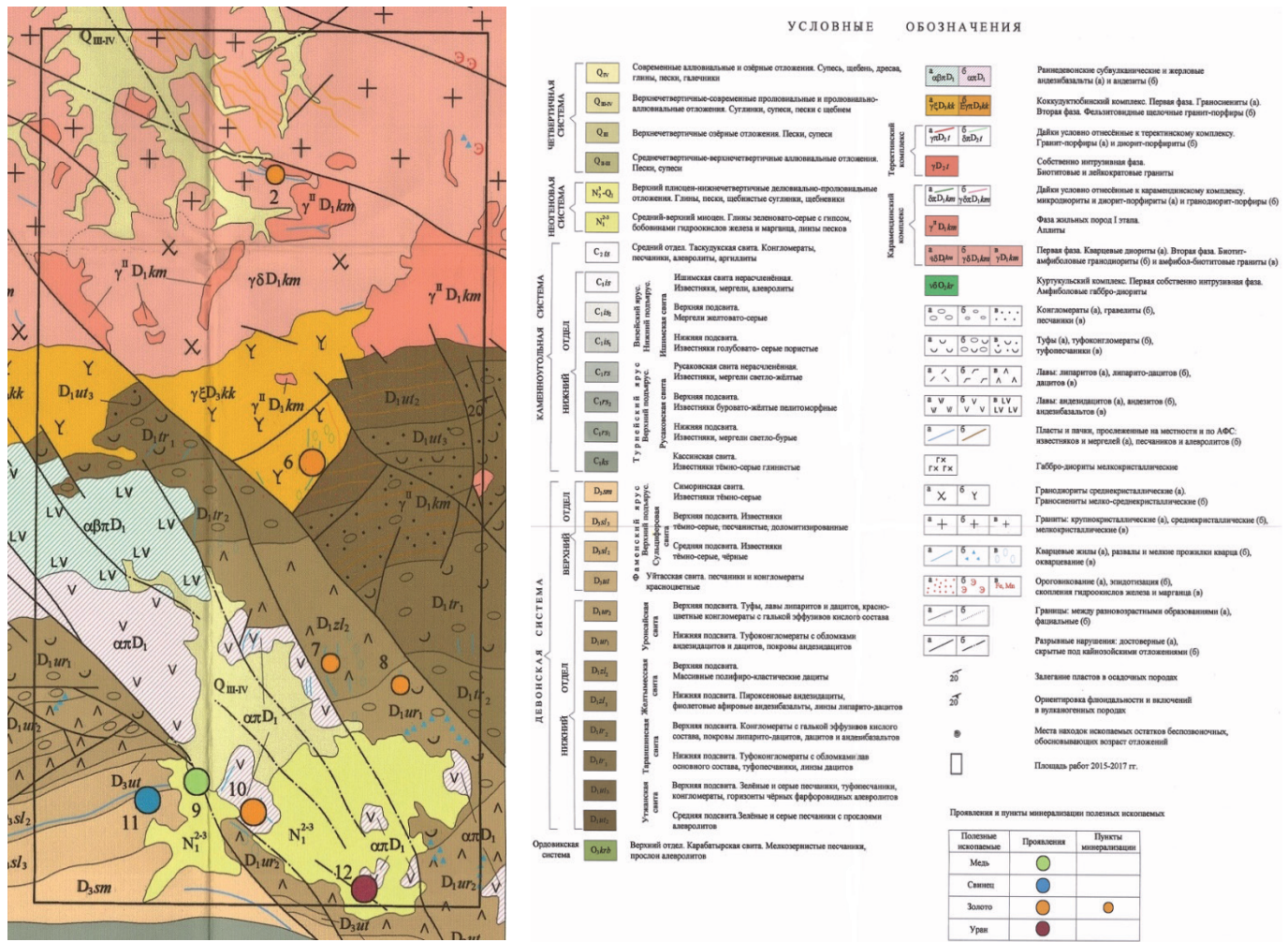


Figure 2. Geological map of the Bidaik ore field.
Сурет 2. Бидайық кен орнының геологиялық картасы.
Рис. 2. Геологическая карта Бидайкского рудного поля.

5% control. Experimental work to determine the optimal frequency was conducted within a range of 0.153 Hz to 4.88 Hz. The IP-FDP setup employed the following geometric parameters: AB = 2000 meters, MN = 20 meters. The AB distance of 2000 meters was selected to achieve the required investigation depth of up to 200 meters.

Measurements on the site were performed using 2–4 modern, high-sensitivity EIN-209M instruments. All signal measurements were conducted with mandatory repeat measurements (accumulations) at survey points. The recorded parameters included the amplitude of the first harmonic A0 (ΔUmn) in mV and the dual-frequency phase parameter of induced polarization φk.

A gamma survey was also conducted to detect radioactive anomalies, which could be associated with certain types of ore bodies and mineralization zones.

An important part of the research involved deep geochemical prospecting, which provided information on the chemical composition of rocks at significant depths, allowing for the understanding of the vertical zoning of the ore field. Mining operations included the excavation of trenches by manual methods. Trenching was carried out in areas identified during reconnais-

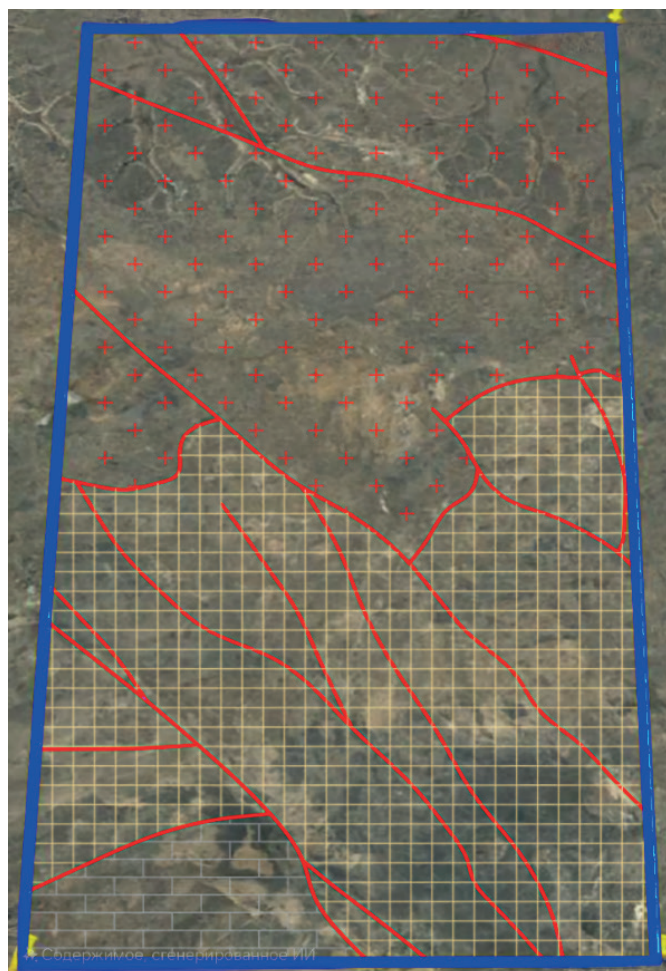
sance surveys as zones of hydrothermally altered rocks and quartz veins, with the objective of exposing and tracing these features in detail along their strike. A total of 29 trenches were excavated, with a combined volume of 1,230.3 m³ and a total length of 1,329.6 m. The trench lengths ranged from 25.5 m to 74.0 m. The average trench depth was 0.93 m, with variations from 0.85 m to 1.57 m.

Following excavation, the surface of each trench was manually cleaned to prepare it for geological documentation, geochemical sampling, and channel sampling. The volume of manual cleaning amounted to 123 m³. Exploration drilling and trenching provided detailed studies of ore bodies at various levels, confirming the data from the geophysical methods and enabling direct analysis of the ore material [2, 3].

This integrated approach not only allowed the mapping of the ore field but also revealed its industrial significance, making the Bidaik Ore Field promising for further geological exploration and mining operations.

Scientific Results

The stratified formations of the area are diverse in composition, genesis, and metamorphism, and belong to the Paleozoic



1 – Tectonic disturbances; 2 – Shubarkul Pluton; 3 – Shubarkul Horst-Anticline; 4 – Taldysai Graben-Syncline

Figure 3. Combined map of the Bidaik ore field.

Сурет 3. Бидайық кен орнының құрама картасы.

Рис. 3. Совмещенная карта Бидайкского рудного поля.

and Cenozoic erathems. The Paleozoic strata formed both in marine conditions (terrigenous, siliceous, and carbonate rocks) and in continental volcanic conditions. Additionally, Paleozoic deposits in the Mesozoic erathem underwent weathering and laterization processes. The Cenozoic deposits are typical continental formations, varying in genesis and composition (Figure 2).

The data obtained at the Bidaik ore field are comparable to the results of studies at the Akshatau and Zhairam deposits. Both regions are characterized by a high degree of polymetallic mineralization and similar tectonic conditions. In particular, at the Akshatau deposit, density and magnetic anomalies indicate zones of ore body localization similar to those identified in Bidaik.

At the Zhairam deposit, fracture zones and increased permeability, formed as a result of intensive tectonic processes, are also noted. The comparison with the results obtained at these deposits confirms the key role of faults and fold structures in the localization of ore bodies at the Bidaik ore field.

The Paleozoic erathem is composed of sandstones of greenish-gray, and less commonly, dark green color, with rare interlayers of siltstones and argillites. The rocks are characterized by submeridional strike and dip angles of approximately 20–30°. The visible thickness of the deposits does not exceed 500 m [4, 5].

The Cenozoic erathem is represented by montmorillonite clays of grayish-green or bluish-green colors. In the upper parts, the clays often have a rusty-brown color due to the oxidation of iron impurities contained within. The clays are massive, lumpy, and contain small inclusions of black ferromanganese concretions and unevenly distributed inclusions of gypsum crystals. According to drilling data, the thickness of the clays ranges from 25 to 30 m.

Main Types of Tectonic Disturbances

Folding and fold formation are processes that alter the bedding of rocks. The main feature of this process is the bending of bodies (usually stratified), differing in both shape and scale. Folding in certain regions is characterized by manifestation at specific historical stages, with the process primarily involving vertical movements of the Earth's crust during the final stages of the geosyncline development [6].

The Shubarkul pluton, Shubarkul horst-anticlinal, and Taldysai graben-synclinal are important tectonic structures of the Bidaik Ore Field (Figure 3) [7, 8].

The crest and northern flank of the horst-anticline are composed of granitoids from the Karamen, Terektin, and Kokkuduktyubin complexes, forming the large Shubarkul Pluton. Only in the extreme northeast are fragments of Lower Devonian volcanic rocks observed.

South of this structure lies the Shubarkul horst-anticline, which is adjacent to and comparable in size to the northern structure. Its composition is predominantly Devonian granitoids and Lower Devonian volcanic rocks.

Further to the south, the next major structural element of the area is the Taldysai graben-syncline, composed of carbonate rocks from the Famennian and Lower Carboniferous [9].

Influence of Tectonic Processes

Tectonic disturbances in the region create favorable conditions for the formation of ore bodies due to intensive fracturing and the penetration of hydrothermal solutions. The main types of disturbances are faults and thrusts, which form zones of increased permeability and concentration of mineralized fluids.

Deep faults passing through the Bidaik ore field play a key role in mineralization processes. These faults provide migration paths for fluids, as confirmed by geophysical survey and drilling results. Similar processes are observed at other deposits in Central Kazakhstan, such as Akshatau and Zhairam, where mineralization is associated with zones of intensive tectonic fracturing.

In the southern part of the area, where the highest number of tectonic disturbances is observed, the most promising ore bodies with significant concentrations of polymetals have formed. This makes the area promising for further exploration and development [10].

Conclusion

Tectonic disturbances in the Bidaik Ore Field play a key role in the formation and distribution of ore bodies. Faults, shifts, folded structures, horizontal displacements, and thrusts create a complex geological environment that requires thorough study and monitoring. These tectonic processes facilitate the penetration of hydrothermal fluids, magmatic intrusions, and deformations, which, in turn, influence ore formation and the effectiveness of mineral extraction in

the region. The geological structure of the ore field comprises formations from the Devonian, Carboniferous, Paleogene, and Quaternary systems. The complexity of the area's geotectonic structure has led to a relative diversity of types and genetic classifications of mineral resources. All identified metallic mineral occurrences are classified as mineralization showings or points. Previous studies in the area have revealed occurrences and points of mineralization for copper, lead, gold, and uranium.

REFERENCES

1. *Otchet o rezul'tatakh rabot po ob'ektu: «Poiskovyye raboty na zoloto na rudnom pole Bidaikskoe» [Report on the results of work on the object: «Exploration work for gold in the Bidaikskoe ore field»], Tarasov I.A., Chernov P.V., Shtey P.A., Zhumabekov N.N., Tsvetkov N.N., Romanov Yu.N. 2017, 261 p. (in Russian)*
2. *Structural geological atlas / Biswas T., Bose N., Dasgupta S. [et al.]. Springer. 2020. 627 p. (in English)*
3. *Geologiya Kazakhstana [Geology of Kazakhstan], Kazakhstanskii nauchnyi zhurnal [Kazakhstan Scientific Journal]. 2020. V. 14. No. 3. 45–58 pp. (in Russian)*
4. *Kudryashov M.A. Tektonika i magmatizm Tsentral'nogo Kazakhstana [Tectonics and Magmatism of Central Kazakhstan], Almaty: Nauka, 2015. 275 p. (in Russian)*
5. *Geologic maps. A practical guide to preparation and interpretation / Spencer E.W. Waveland Press. 2018. 235 p. (in English)*
6. *Lebedev A.N. Gidrogeologiya i geokhimiya rudnykh mestorozhdenii [Hydrogeology and Geochemistry of Ore Deposits], Almaty: Nurly Kitap, 2018. 310 p. (in Russian)*
7. *Baibosynov Zh. Sovremennyye metody geologorazvedki v Kazakhstane [Modern Geological Exploration Methods in Kazakhstan], Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan [Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan]. 2019. V. 12. No. 1. 120–135 pp. (in Russian)*
8. *Investigating Plate Tectonics, Earthquakes, and Volcanoes / Anderson M. Britannica. 2012. 88 p. (in English)*
9. *Cheon Y., Kim J., Lee S. (2023). Comprehensive reinterpretation and new insights into the Ulsan Fault Zone: Geological and geophysical analysis. EGU Sphere. <https://egusphere.copernicus.org> (in English)*
10. *Geophysical Journal International. (2022). Interaction between magmatic and tectonic processes in local fault genesis: Implications from recent geophysical modeling. Oxford Academic. <https://academic.oup.com/gji> (in English)*

ПАЙДАЛААНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. «Бидайық кен орнындағы алтын барлау жұмыстары» нысанындағы жұмыстардың нәтижелері туралы есеп / Тарасов И.А., Чернов П.В., Штей П.А., Жұмабеков Н.Н., Цветков Н.Н., Романов Ю.Н. 2017, 261 б. (орыс тілінде)
2. Геологиялық құрылымдар картасы / Бисвас Т., Босе Н., Дасгупта С. [және т. б.]. Спрингер. 2020. 627 б. (ағылшын тілінде)
3. Қазақстан геологиясы // Қазақстан ғылыми журналы. 2020. – Т. 14. № 3. Б. 45–58 (орыс тілінде)
4. Кудряшов М.А. Орталық Қазақстан тектоника және магматизмі: Алматы: Ғылыми, 2015. 275 б. (орыс тілінде)
5. Геологиялық карта. Дайындау және түсіндіру бойынша практикалық нұсқаулық / Спенсер Э.В. Уэйвленд Пресс. 2018. 235 б. (ағылшын тілінде)
6. Лебедев А.Н. Кенді кенорындарының гидрогеология және геохимиясы: Алматы: Нурлы кітап, 2018. 310 б. (орыс тілінде)
7. Байбосынов Ж. Қазақстандағы геологиялық барлаудың заманауи әдістері // Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының жаңалықтары. 2019. Т. 12. № 1. Б. 120–135 (орыс тілінде)
8. Плитаның тектоникасын, жер сілкінісін және жанартауларды зерттеу / Андерсон М. Британника. 2012. 88 б. (ағылшын тілінде)
9. Чон Ю., Ким Дж., Ли С. (2023). Ульсан сынық аймағына қатысты кешенді қайта бағалау және жаңа түсініктер: геологиялық және геофизикалық талдау. ЭГУ Сфера. <https://egusphere.copernicus.org> (ағылшын тілінде)

10. Халықаралық геофизикалық журнал. (2022). Жергілікті жарықтар генезисінде магмалық және тектоникалық процестердің өзара әрекеттесуі: соңғы геофизикалық модельдеуден алынған түсініктер. Оксфорд Академик. <https://academic.oup.com/gji> (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет о результатах работ по объекту: «Поисковые работы на золото на рудном поле Бидаикское» / Тарасов И.А., Чернов П.В., Штей П.А., Жумабеков Н.Н., Цветков Н.Н., Романов Ю.Н. 2017, 261 с. (на русском языке)
2. Атлас геологических структур / Бисвас Т., Босе Н., Дасгунта С. [и др.]. Спрингер. 2020. 627 с. (на английском языке)
3. Геология Казахстана // Казахстанский научный журнал. 2020. Т. 14. № 3. С. 45–58 (на русском языке)
4. Кудряшов М.А. Тектоника и магматизм Центрального Казахстана: Алматы: Наука, 2015. 275 с. (на русском языке)
5. Геологическая карта. Практическое руководство по подготовке и интерпретации / Спенсер Э.В. Уэйвлэнд Пресс. 2018. 235 с. (на английском языке)
6. Лебедев А.Н. Гидрогеология и геохимия рудных месторождений: Алматы: Нурлы кітап, 2018. 310 с. (на русском языке)
7. Байбосынов Ж. Современные методы геологоразведки в Казахстане // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. 2019. Т. 12. № 1. С. 120–135 (на русском языке)
8. Исследования тектоники плит, землетрясений и вулканов / Андерсон М. Британника. 2012. 88 с. (на английском языке)
9. Чон Ю., Ким Дж., Ли С. (2023). Комплексная переоценка и новые идеи о разломной зоне Ульсана: Геологический и геофизический анализ. ЭГУ Сфера. <https://egosphere.copernicus.org> (на английском языке)
10. Международный геофизический журнал. (2022). Взаимодействие магматических и тектонических процессов в генезисе локальных разломов: выводы из недавнего геофизического моделирования. Оксфорд Академик. <https://academic.oup.com/gji> (на английском языке)

Information about the authors:

Baklagin D.M., master's degree student at the Department of «Geology and exploration of mineral deposits», «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NPJSC (Karaganda, Kazakhstan), KrasavchiKZ_44@list.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1499-9313>

Lepuyavko M.V., master's degree student at the Department of «Geology and exploration of mineral deposits», «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NPJSC (Karaganda, Kazakhstan), Lepuyavko_mikhail@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-2110-527X>

Ponomareva M.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Geology and Exploration of Mineral Deposits Department, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC (Karaganda, Kazakhstan), my_ponomareva18@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8652-9607>

Ponomareva Ye.V., Ph.D, acting Associate Professor of the Geology and Exploration of Mineral Deposits Department, «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» NJSC (Karaganda, Kazakhstan), sea_kitten_1@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1322-6773>

Авторлар туралы мәліметтер:

Баклагин Д.М., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Леявякко М.В., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының магистранты (Қарағанды қ., Қазақстан)

Пономарева М.В., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доценті, т. ғ. к. (Қарағанды қ., Қазақстан)

Пономарева Е.В., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ «Геология және пайдалы қазбалар кен орындарын барлау» кафедрасының доцентінің м. а., Ph.D (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Баклагин Д.М., магистрант кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Леявякко М.В., магистрант кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Пономарева М.В., к. т. н., доцент кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Пономарева Е.В., Ph.D, и. о. доцента кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 52.45.17

*М.Б. Барменшинова, И.Ю. Мотовилов, М.Ә. Іңкәр, Р.С. Омар
Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

АҚТӨБЕ КЕН ОРНЫНДАҒЫ ҚИЫН БАЙЫТЫЛАТЫН АЛТЫН ШИКІЗАТЫН БАЙЫТУ ЖӘНЕ КЕШЕНДІ ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

Аннотация. Бұл жұмыста Жамбыл облысындағы Ақтөбе кен орнындағы қиын байытылатын алтын құрамды рудалар кешенді зерттелді. Кеннің химиялық және минералдық құрамы, алтын мен күмістің таралу формалары, гранулометриялық және физико-механикалық қасиеттері анықталды. Орташа алтын мөлшері 1,55–1,6 г/т, күміс 42–43 г/т деңгейінде. Негізгі минерал кварц (79%-ға дейін), пирит (10%-ға дейін), дала шпаты, кальцит және слюда. Фазалық талдау бос алтын үлесін 46,47% көрсетті, қалған бөлігі сульфидтермен (37,61%) немесе жыныста майда түйіршікті (15,92%) түрінде. GRG-тест нәтижесінде центрифугалық әдіспен алтынның 35,93%-ға дейін бөлінетіні анықталды. «Ұнтақтау-центрифугалық концентрация» сұлбасы алтынның 28,74%-ын гравиконцентратқа жинақтады. Нәтижелер гравитация, флотация және циандауды біріктіретін технологиялардың негізділігін дәлелдейді.

Түйінді сөздер: алтын, күміс, химиялық талдау, минералогиялық талдау, түйіршік құрамдық талдау, физико-механикалық қасиеттер, гравитациялық байыту, ортадан тепкіш концентрация, отсадқа, гравиконцентрат.

Development of beneficiation technology and comprehensive processing of refractory gold-bearing ores of the Aktobe deposit

Abstract. This study investigated refractory gold-bearing ores from the Aktobe deposit (Zhambyl region, Kazakhstan). The chemical and mineral compositions, forms of occurrence of gold and silver, granulometric and physico-mechanical properties were determined. Average gold grade was 1.55–1.6 g/t, silver 42–43 g/t. Main minerals are quartz (up to 79%), pyrite (up to 10%), feldspar, calcite, and mica. Phase analysis showed that free gold accounts for 46.47%, while 37.61% is associated with sulfides and 15.92% finely disseminated. GRG testing demonstrated up to 35.93% gold recovery by centrifugal concentration. In the «grinding-centrifugal concentration» flow-sheet, 28.74% of gold was recovered into the gravity concentrate. The results confirm the feasibility of technologies combining gravity, flotation, and cyanidation.

Key words: gold, silver, chemical analysis, mineralogical analysis, granulometric analysis, physico-mechanical properties, gravity concentration, centrifugal concentration, jigging, gravity concentrate.

Разработка технологии обогащения и комплексной переработки упорного золотосодержащего сырья месторождения Актөбе

Аннотация. В работе проведено исследование упорных золотосодержащих руд месторождения Актөбе (Жамбылская область, Казахстан). Определены химический и минеральный состав, формы нахождения золота и серебра, гранулометрические и физико-механические свойства. Среднее содержание золота составило 1,55–1,6 г/т, серебра – 42–43 г/т. Основные минералы: кварц (до 79%), пирит (до 10%), полевошпатовый шпат, кальцит и слюда. Фазовый анализ показал, что свободное золото составляет 46,47%, остальное связано с сульфидами (37,61%) или тонковкрашено в породу (15,92%). По результатам GRG-теста центробежной концентрацией может быть извлечено до 35,93% золота. По схеме «измельчение-центрифужная концентрация» выделено 28,74% золота в гравиконцентрат. Полученные результаты подтверждают обоснованность применения технологий, объединяющих гравитацию, флотацию и цианирование.

Ключевые слова: золото, серебро, химический анализ, минералогический анализ, гранулометрический анализ, физико-механические свойства, гравитационное обогащение, центробежная концентрация, отсадқа, гравиконцентрат.

Кіріспе

Қазіргі заманғы алтын өндіру өнеркәсібі минералдық шикізат сапасының төмендеуімен сипатталады: бай шөгінді және жіліндік кен орындары іс жүзінде таусылған, сондықтан барған сайын негізгі рөлді қиын байытылатын алтын құрамды кендер атқарып отыр [1–3]. Бұл кендерге алтынның майда түйіршік түрінде таралуы және оның сульфидті минералдармен (пирит, арсенипирит, галенит, сфалерит) тығыз байланысы тән, бұл қарапайым циандау әдісін тиімді қолдануға мүмкіндік бермейді. Көп жағдайда металды алу коэффициенті 40–50%-дан аспайды [4].

Әлемдік тәжірибелер көрсеткендей, ең сенімді нәтижелер гравитацияны, флотацияны және концентраттарды кейінгі циандауды қамтитын аралас технологиялық сұлбаларды қолдану кезінде алынады. Гравитация бос алтынды бөліп шығаруға және кейінгі сағылардың жүктемесін азайтуға мүмкіндік береді, флотация сульфидті минералдарды шоғырландырады, ал циандау концентраттардан металл алуды қамтамасыз етеді [5, 6]. Мұндай технологиялар Австралия, Канада, Оңтүстік Африка Республикасы және Ресейде кеңінен қолданылады [7, 8].

Қазақстан үшін қиын байытылатын кендерді өңдеу мәселесі ерекше маңызға ие, себебі алтын қорының айтарлықтай бөлігі дәл осы санаттағы кендерге тиесілі. Перспективалы объектілердің қатарына 2017 жылы барланған және JORC жүйесі бойынша қоры 4,7 т алтынға бағалан-

ған Ақтөбе кені жатады. Бұл кен орны төмен алтын мөлшерімен және металдардың күрделі таралуымен сипатталады, бұл өз кезегінде аралас технологияларды әзірлеу қажеттілігін алдын ала айқындайды [9–11].

Зерттеудің мақсаты – Ақтөбе кен орнының минералдық құрамын кешенді зерттеу, алтын мен күмістің таралу формаларын анықтау және гравитациялық байытылу мүмкіндігін бағалау арқылы аралас өңдеу сұлбасын негіздеу.

Зерттеу нысаны және әдістері

Зерттеу нысаны ретінде Жамбыл облысы Мыңарал кен ауданында орналасқан Ақтөбе кен орнының қиын байытылатын алтын құрамды кені алынды. Бұл кен орны алтынға бай көріністерімен белгілі болғанымен, оның кендері қиын байытылатын санатқа жатады. Зерттелген үлгідегі алтынның орташа мөлшері 1,55–1,6 г/т, ал күмістің мөлшері шамамен 42–43 г/т құрады. Минералдық құрамы кварцтың, калийлі дала шпатының, кальцит пен слюданың басым болуымен сипатталады, ал кен минералдары пиритпен (10%-ға дейін), сфалерит және галенитпен ұсынылған. Алтынның майда түйіршік түрінде кездесуі және оның сульфидтермен тығыз байланысы кеннің қиын байытылатын сипатын анықтап, дәстүрлі әдістермен өңдеуді күрделендіреді [2].

Кеннің құрамын және қасиеттерін зерттеу үшін заманауи әдістер кешені қолданылды. Химиялық құрамы

пробирлік, химиялық және спектралдық талдау арқылы анықталды, бұл алтынның, күмістің, темірдің, күкірттің, қорғасынның, мырыштың және зиянды қоспалардың концентрациясын белгілеуге мүмкіндік берді. Минералдық құрам макрокопиялық бақылаулар, Leica DM2500 M поляризациялық микроскопындағы шлифтерді микроскопиялық зерттеу және ДРОН-3 рентгендифракциялық талдағышы көмегімен нақтыланды.

Физикалық қасиеттерді бағалау үшін электік талдау жүргізілді, пикнометриялық әдіспен тығыздық өлшенді, үйінді тығыздығы мен кеуектілігі анықталды, сондай-ақ Протодеяконов әдісі бойынша беріктігі бағаланды. Ұнтақталу индексі Бонд әдісі бойынша есептеліп, зерттелген кенді ұнтақтаудың энергия сыйымдылығын бағалауға мүмкіндік берді [7, 8].

Алтын мен күмістің фазалық талдауына ерекше көңіл бөлінді, ол металдардың бос, сульфидті және майда түйіршік түрінде таралуын көрсетті. Бұл зерттеу өндеудің тиімді технологиясын таңдауда шешуші мәнге ие, өйткені циандауға келетін алтынның үлесін және алдын ала байыту мүмкіндігін анықтайды.

Гравитациялық байытылу мүмкіндігін зерттеу үшін GRG-тест (Gravity Recoverable Gold test) жүргізілді. Ол кенді әртүрлі түйіршік класына дейін кезең-кезеңімен ұнтақтауды және алтынды 60G жеделдетуде жұмыс істейтін виброцентрифугалық концентратор арқылы бөліп алуды қамтыды. Қосымша түрде ұнтақтау циклінде гравитациялық байыту сұлбалары сыналды: бірінші сұлба «ұнтақтау – отсадка арқылы байыту – концентрациялық үстел» болса, екіншісі «ұнтақтау – центрифугалық концентрация» болды [5, 6]. Бұл сұлбаларды салыстыру флотация мен циандауға дейін алтынды бөлудің ең тиімді нұсқасын анықтауға мүмкіндік берді.

Осылайша, зерттеу нысаны химиялық-минералогиялық құрамы тұрғысынан да, физика-механикалық қасиеттері мен алтынның таралу формалары бойынша да жан-жақты сипатталды, ал жүргізілген технологиялық сынақтар оның гравитациялық байытылу мүмкіндігін және оны аралас өндеу сұлбасына гравитацияны енгізу перспективаларын бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Химиялық және минералдық құрамы

Зерттелген Ақтөбе кен орнының кені алтын мөлшері бойынша кедей санатқа жатады: орташа алтын мөлшері 1,55–1,6 г/т, ал күміс мөлшері 42–43 г/т құрады. Ілеспе элементтер құрамында темір (2,14%) және күкірт (1,06%) мөлшері басым, бұл пириттің болуымен байланысты. Қорғасын мен мырыш мөлшері 0,15–0,17%, ал зиянды қоспалар – мышьяк (0,05%) пен сурьма (0,01%) өте аз мөлшерде кездеседі (1-кесте).

Кеннің минералдық құрамы 2-кестеде көрсетілгендей негізінен кварцтан (79,1%), калийлі дала шпатынан (7,2%), кальциттен (4,6%) және слюдадан (3,1%) тұрады. Кен минералдарының ішінде пирит (6%-ға дейін) басым, ал сфалерит пен галенит аз мөлшерде кездеседі. Демек, кен кварцты негізге ие және сульфидті минералдар жеке-жеке қосынды түрінде таралған, бұл оның қиын байытылатын сипатын айқындайды.

Кесте 1

Бастапқы кеннің химиялық құрамы

Table 1

Chemical composition of the original ore

Таблица 1

Химический состав исходной руды

Элемент	Мөлшері
Au (алтын)	1,57 г/т
Ag (күміс)	42,5 г/т
Fe (темір)	2,14%
S (күкірт)	1,06%
Pb (қорғасын)	0,15%
Zn (мырыш)	0,17%
As (мышьяк)	0,05%
Sb (сурьма)	0,01%

Кесте 2

Ақтөбе кен орнының минералдық құрамы

Table 2

Mineral composition of the Aktobe ore

Таблица 2

Минеральный состав руды месторождения Актөбе

Минерал	Формула	Мөлшері (%)
Кварц	SiO_2	79,1
Калийлі дала шпаты	$KAlSi_3O_8$	7,2
Кальцит	$CaCO_3$	4,6
Слюда	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	3,1
Пирит	FeS_2	6,0

Алтын мен күмістің фазалық құрамы

Фазалық талдау нәтижелері алтынның тек 46,47%-ы бос күйде екенін көрсетті. Металдың 37,61%-ы сульфидті минералдармен, негізінен пиритпен байланысқан, ал 15,92%-ы жыныстың құрамында майда түйіршік түрінде бекітілген. Күмістің таралу ерекшелігі күрделірек: 38,59% бос күйінде, 27,67% сульфидтермен байланысқан, ал шамамен 30%-ы тотығу формаларында кездеседі (3-кесте).

Бұл нәтижелер алтын мен күмістің едәуір бөлігі қиын қолжетімді түрінде екенін дәлелдейді, сондықтан тиімді тікелей циандау мүмкін емес.

Алтын мен күмістің түйіршік өлшемдері бойынша таралуы

Талдау нәтижелері ұнтақтау дәрежесі артқан сайын алтын мен күмістің мөлшері де өсетінін көрсетті. Алтынның мөлшері ірі фракцияларда 1,05–1,12 г/т деңгейінде болса, -0,074 мм класта 3,37 г/т жетті. Күміс мөлшері де осындай заңдылыққа ие: ірі фракцияларда 35–37 г/т, ал ең ұсақ класта 78,75 г/т құрады (4-кесте).

1-суретте алтын мен күмістің мөлшері ірі кластан ұсақ класта өткен сайын жүйелі түрде өсетіні көрсетілген. Бұл ұнтақтау барысында сульфидті минералдардың ашылуымен және олардың құрамындағы майда алтынның босауымен түсіндіріледі.

Кесте 3
Алтын мен күмістің фазалық құрамы

Table 3
Phase analysis of gold and silver

Таблица 3
Фазовый анализ золота и серебра

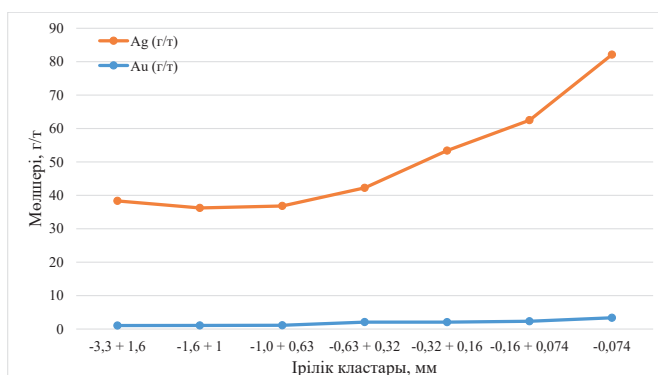
Таралу формасы	<i>Au</i> (г/т)	<i>Au</i> үлесі (%)	<i>Ag</i> (г/т)	<i>Ag</i> үлесі (%)
Бос және ашық түзілімдерде	0,73	46,47	16,40	38,59
Сульфидтермен байланысқан	0,59	37,61	11,76	27,67
Жыныста майда түйіршік түрінде	0,25	15,92	0,99	2,33
Басқа қиын қолжетімді формалар	–	–	13,35	31,41
Барлығы	1,57	100,0	42,50	100,0

Кесте 4
Алтын мен күмістің түйіршік өлшемдері бойынша таралуы

Table 4
Distribution of gold and silver by particle size classes

Таблица 4
Распределение золота и серебра по классам крупности

Класс (мм)	<i>Au</i> (г/т)	<i>Ag</i> (г/т)
-3,3 + 1,6	1,05	37,29
-1,6 + 1,0	1,07	35,17
-1,0 + 0,63	1,12	35,71
-0,63 + 0,32	2,07	40,17
-0,32 + 0,16	2,06	51,33
-0,16 + 0,074	2,33	60,17
-0,074	3,37	78,75



Сурет 1. Алтын мен күмістің ірілік кластары бойынша таралуы

Figure 1. Distribution of gold and silver by size classes

Рис. 1. Распределение золота и серебра по классам крупности

GRG-тест нәтижелері

GRG-тест гравитация әдісі алтынның тек бір бөлігін ғана тиімді бөліп ала алатынын растады. Бірінші кезеңде

(-2 мм өлемінде) 8,62% металл бөлінсе, екінші кезеңде (80% < 0,3 мм) бұл көрсеткіш 21,10%-ға дейін өсті. Ал әрі қарай -0,074 мм-ге дейін ұнтақтағанда қосымша өсім тек 6,21% болды. Жалпы алғанда, центрифугалық концентрация арқылы алтынды алу деңгейі 35,93% құрады (5-кесте).

Кесте 5
GRG тестінің нәтижелері

Table 5
GRG test results

Таблица 5
Результаты GRG-теста

Ұнтақтау сатысы	<i>Au</i> алынуы (%)	<i>Ag</i> алынуы (%)
-2 мм	8,62	2,29
80% < 0,3 мм	21,10	3,80
80% < 0,074 мм	6,21	3,86
Барлығы	35,93	9,95

Негізгі өсім 0,3 мм-ге дейін ұнтақтау кезінде болатыны, ал әрі қарай ұнтақтаудың қосымша әсері шамалы екені көрсетілген. Бұл қалған алтынның майда түйіршік түрінде болуы және гравитацияға қолжетімсіздігімен байланысты.

Гравитациялық байыту сұлбаларын салыстыру

Салыстырмалы сынақтар көрсеткендей, «ұнтақтау – отсадка арқылы байыту – концентрациялық үстел» сұлбасы алтын мөлшері 21,35 г/т болды. Ал «ұнтақтау – центрифугалық концентрация» сұлбасы анағұрлым жоғары нәтижелер көрсетті: алтынды алу – 28,74%, концентраттағы алтын мөлшері – 36,62 г/т [4, 5] (6-кесте).

Кесте 6
Бастапқы кеннің гравитациялық байыту нәтижелері

Table 6
Results of gravity concentration of initial ore

Таблица 6
Результаты гравитационного обогащения исходной руды

Байыту сұлбасы	<i>Au</i> алынуы (%)	Концентраттағы <i>Au</i> (г/т)
Ұнтақтау – отсадка – концентрациялық үстел	16,11	21,35
Ұнтақтау – центрифугалық концентрация	28,74	36,62

Талқылау

Алынған нәтижелер Ақтөбе кенін өндеуде аралас технологияларды қолданудың қажеттілігін дәлелдейді. Алтынның жартысынан астамы сульфидтерде және жыныстың құрамында бекітілгендіктен, қарапайым циандау жоғары нәтиже бермейді. Дегенмен, бастапқы кезеңде гравитациялық әдістерді енгізу арқылы алтынның 30%-ға дейін бөліп алып, кейінгі флотация мен гидрометаллургиялық процестердің жүктемесін айтарлықтай азайтуға болады.

Сұлбаларды салыстыру нәтижесінде центрифугалық концентрацияның тиімдірек екені анықталды, себебі ол

ұсақ түйіршікті алтынды (0,03 мм-ден бастап) бөлуге мүмкіндік береді. Бұл әлемдік тәжірибеге сәйкес келеді: Knelson және Falcon концентраторлары майда алтынды бөліп алудың негізгі жабдығы болып табылады.

Осылайша, Ақтөбе кенін өңдеудің ең оңтайлы нұсқасы – «гравитация-флотация-концентраттарды циандау» аралас технологиясы. Мұндай тәсіл металдарды неғұрлым толық бөліп алуды қамтамасыз етеді және қиын байытылатын алтын құрамды кендерді өңдеудегі заманауи үрдістерге толық сәйкес келеді.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер Ақтөбе кен орнының қиын байытылатын алтын құрамды кендерінің минералдық құрамын, алтын мен күмістің таралу формаларын және гравитациялық байытудың технологиялық мүмкіндіктерін жан-жақты сипаттауға мүмкіндік берді. Анықталғандай, кеннің негізгі ерекшеліктері – алтынның төмен мөлшері (орташа 1,55–1,6 г/т) және күмістің салыстырмалы аз құрамы (42–43 г/т), минералдық құрамында кварцтың басымдығы және пириттің 10%-ға дейін болуы, бұл оның қиын байытылатын сипатын алдын ала анықтайды. Алтынның жартысынан астамы сульфидті минералдар мен жыныс құрамында бекітілгендіктен, дәстүрлі әдістермен металды тиімді бөліп алу мүмкін емес.

Фазалық талдау нәтижелері алтынның бос күйіндегі үлесі небәрі 46,47% екенін, қалғаны сульфидті минералдармен байланысты немесе жыныс түзілу минералдары ішінде майда түйіршік түрінде бекітілгенін көрсетті. Бұл деректер ара-

лас технологияларды қолданудың қажеттілігін дәлелдейді. Жүргізілген GRG-тест пен гравитациялық байыту сұлбаларын сынау нәтижелері центрифугалық концентрацияның ең тиімді әдіс екенін айқындады, ол алтынды 35,93%-ға дейін бөліп алуға мүмкіндік береді. Лабораториялық жағдайда «ұнтақтау – центрифугалық концентрация» сұлбасы алтынды 28,74% деңгейінде концентратқа шоғырландырды, бұл дәстүрлі «отсадка және концентрациялық үстел» сұлбасынан шамамен екі есе жоғары нәтиже көрсетті.

Осылайша, Ақтөбе кен орнының қиын байытылатын рудаларын қайта өңдеудің оңтайлы технологиялық сұлбасы – гравитация, флотация және алтын құрамды концентраттарды кейінгі циандау комбинациясы болып табылады. Мұндай тәсіл әлемдік тәжірибеге сәйкес келеді [1–3] және қиын байытылатын шикізаттан бағалы металдарды барынша толық әрі ұтымды алуды қамтамасыз етеді. Алынған нәтижелер болашақта өндірістік технологияны әзірлеуге, оның ішінде қосымша флотациялық операцияларды және сульфидті концентраттарды гидрометаллургиялық өңдеуді қамтуға негіз болады.

Зерттеу жұмысының практикалық маңыздылығы – ұсынылған технологиялық шешімдер Ақтөбе кен орнының минералдық ресурстарын пайдалану тиімділігін арттырып, оны қазіргі деңгейде өнеркәсіптік игерудің мүмкіндігін ғылыми тұрғыда негіздейді.

АЛҒЫС

Зерттеу ҚР ҒЖБМ 2023/АР19680182 гранттық қаржыландыру жобасы бойынша орындалды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Adams M.D. Алтын кендерін өңдеу: жоба әзірлеу және операциялар. 2-ші басылым. Elsevier, 2016. 980 б. (ағылшын тілінде)
2. Ақтөбе кен орнындағы құрамында алтыны бар упорлы кендердің заттық құрамын зерттеу / Барменшинова М.Б. [және т. б.] // Минералды шикізатты кешенді пайдалану. 2023. Т. 331. № 4. Б. 5–11 (ағылшын тілінде)
3. Marsden J., House C. Алтынды алу химиясы. 2-ші басылым. SME, 2006. 651 б. (ағылшын тілінде).
4. Zhang D., Xu B., Li J. Қиын өңделетін алтын кендерін биошаймалау арқылы алдын ала өңдеудегі жетістіктер // Minerals Engineering. 2019. Т. 138. Б. 110–121 (ағылшын тілінде)
5. Corrans I.J. Алтын өнеркәсібінде центрифугалық сепараторларды қолдану // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Т. 117. № 3. Б. 201–210 (ағылшын тілінде)
6. Salter J.D., Wills B.A. Қазіргі минералдық шикізатты қайта өңдеудегі гравитациялық байыту // Developments in Mineral Processing. 2018. Т. 7. Б. 381–407 (ағылшын тілінде)
7. Мельников Н.Н., Пугачев А.И. Алтын кендерін қайта өңдеу технологиясы: М.: Недра, 2004. 412 б. (орыс тілінде)
8. Ковалев В.А., Федоров К.Н. Қиын өңделетін алтын кенттерін қайта өңдеудің заманауи тәсілдері // Тау журналы. 2019. № 8. Б. 45–52 (орыс тілінде)
9. Жунусов Б.А., Капасов Е.К. Қазақстандағы қиын өңделетін алтын кендерін байытудың біріктірілген әдістері // ҚМТУ хабаршысы. 2020. № 2 (47). Б. 77–85 (орыс тілінде)
10. Бектуров А.А., Сағындықов С.А. Мынарал кен алаңының қиын өңделетін алтын кендерін қайта өңдеудің перспективалары // Минералды шикізатты кешенді пайдалану. 2021. № 3. Б. 14–23 (орыс тілінде)
11. Nurpeissova A., Bazarbayeva A., Yessimova G. Қазақстанда қиын өңделетін алтын кендерін өңдеудің инновациялық технологиялары // E3S Web of Conferences. 2021. Т. 174. Мақ. 02021 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Adams M.D. *Gold Ore Processing: Project Development and Operations*. 2nd ed. Elsevier, 2016. 980 p. (in English)
2. Study of the material composition of refractory gold-bearing ore from the Aktobe deposit / Barmenshinova M. [et al.] // *Complex Use of Mineral Resources*. 2023. V. 331. No. 4. 5–11 pp. (in English)
3. Marsden J., House C. *The Chemistry of Gold Extraction*. 2nd ed. SME, 2006. 651 p. (in English)
4. Zhang D., Xu B., Li J. *Advances in Pretreatment of Refractory Gold Ores by Bioleaching* // *Minerals Engineering*. 2019. V. 138. 110–121 pp. (in English)
5. Corrans I.J. *Application of Centrifugal Separators in the Gold Industry* // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017. V. 117. No. 3. 201–210 pp. (in English)
6. Salter J.D., Wills B.A. *Gravity Concentration in Modern Mineral Processing* // *Developments in Mineral Processing*. 2018. V. 7. 381–407 pp. (in English)
7. Melnikov N.N., Pugachev A.I. *Tekhnologiya pererabotki zolotonosnykh rud [Technology of Processing Gold-Bearing Ores]*. Moscow: Nedra, 2004. 412 p. (in Russian)
8. Kovalev V.A., Fedorov K.N. *Sovremennye podkhody k pererabotke upornykh zolotosoderzhashchikh rud [Modern approaches to processing refractory gold ores]*, *Gornyi Zhurnal [Mining Magazine]*. 2019. No. 8. 45–52 pp. (in Russian)
9. Zhunusov B.A., Kapasov E.K. *Kombinirovannyye metody obogashcheniya upornykh zolotosoderzhashchikh rud Kazakhstana [Combined methods of beneficiation of refractory gold ores of Kazakhstan]*, *Vestnik KGTU [Bulletin of KGTU]*. 2020. No. 2 (47). 77–85 pp. (in Russian)
10. Bekturov A.A., Sagyndykov S.A. *Perspektivy pererabotki upornykh zolotosoderzhashchikh rud Mynaral'skogo rudnogo polya [Prospects for processing refractory gold ores of the Mynaral ore field]*, *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'ya [Complex Use of Mineral Resources]*. 2021. No. 3. 14–23 pp. (in Russian)
11. Nurpeissova A., Bazarbayeva A., Yessimova G. *Innovative Technologies for Processing Refractory Gold Ores in Kazakhstan* // *E3S Web of Conferences*. 2021. V. 174. Art. 02021 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Adams M.D. *Переработка золотых руд: разработка проектов и операции*. 2-е изд. Elsevier, 2016. 980 с. (на английском языке)
2. Исследование вещественного состава упорных золотосодержащих руд месторождения Актобе / Барменшинова М.Б. [и др.] // *Комплексное использование минерального сырья*. 2023. Т. 331. № 4. С. 5–11 (на английском языке)
3. Marsden J., House C. *Химия извлечения золота*. 2-е изд. SME, 2006. 651 с. (на английском языке)
4. Zhang D., Xu B., Li J. *Достижения в предварительной обработке упорных золотых руд методом биовыщелачивания* // *Minerals Engineering*. 2019. Т. 138. С. 110–121 (на английском языке)
5. Corrans I.J. *Применение центробежных сепараторов в золотодобывающей промышленности* // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017. Т. 117. № 3. С. 201–210 (на английском языке)
6. Salter J.D., Wills B.A. *Гравитационное обогащение в современной переработке минерального сырья* // *Developments in Mineral Processing*. 2018. Т. 7. С. 381–407 (на английском языке)
7. Мельников Н.Н., Пугачев А.И. *Технология переработки золотоносных руд*: М.: Недра, 2004. 412 с. (на русском языке)
8. Ковалев В.А., Федоров К.Н. *Современные подходы к переработке упорных золотосодержащих руд* // *Горный журнал*. 2019. № 8. С. 45–52 (на русском языке)
9. Жунусов Б.А., Капасов Е.К. *Комбинированные методы обогащения упорных золотосодержащих руд Казахстана* // *Вестник КГТУ*. 2020. № 2 (47). С. 77–85 (на русском языке)
10. Бектуров А.А., Сагындыков С.А. *Перспективы переработки упорных золотосодержащих руд Мынаральского рудного поля* // *Комплексное использование минерального сырья*. 2021. № 3. С. 14–23 (на русском языке)
11. Nurpeissova A., Bazarbayeva A., Yessimova G. *Инновационные технологии переработки упорных золотосодержащих руд в Казахстане* // *E3S Web of Conferences*. 2021. Т. 174. С. 02021 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Барменишинова М.Б., т. ғ. к., қауымдастырылған профессор, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі (Алматы қ., Қазақстан), m.barmenshinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

Мотовилов И.Ю., Ph.D докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан), i.motovilov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0716-402X>

Инқар М.Ә., Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан), m.ingkar@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-7304-9326>

Омар Р.С., техника ғылымдарының магистрі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының инженері (Алматы қ., Қазақстан), r.omar@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-3269-7549>

Information about the authors:

Barmenshinova M.B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and mineral processing, Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan).

Motovilov I.Y., Doctor Ph.D, Associate Professor at the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan).

Ingkar M.A., doctoral student at the Department of Metallurgy and Mineral Processing, Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan).

Omar R.S., Master of Technical Sciences, Engineer of the Department of Metallurgy and mineral processing, Kazakh National Research University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Барменишинова М.Б., к. т. н., ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Казахского национального исследовательского университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Мотовилов И.Ю., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Казахского национального исследовательского университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Инкар М.А., докторант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Казахского национального исследовательского университета им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

Омар Р.С., магистр технических наук, инженер кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Казахского национального исследовательского университета им. К.И. Сатпаева (Алматы, Казахстан)

CENTRAL ASIA PLAST WORLD

17-18-19 МАРТА | 2026

200+ участников из 20+ стран

Национальные стенды:



Австрия



Германия



Италия



Турция



Китай

18-я Международная Выставка
Индустрии Пластмасс,
Полимеров и Каучука

IN COOPERATION WITH



MEMBER OF



Получить пропуск:



+7 (707) 611 81 04

КАЗАХСТАН, АЛМАТЫ, ВЦ АТАКЕНТ



info@plastworld.kz



[plastworld.kz](https://www.instagram.com/plastworld.kz)



www.plastworld.kz

Код МРНТИ 52.47.01:52.47.17

*Ә.С. Хадиева¹, Г.И. Джалалов²¹Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инженеринг университеті (Ақтау қ., Қазақстан),
²Әзірбайжан Ұлттық Ғылым Академиясы (Баку қ., Әзірбайжан)

ЖОҒАРЫ ТҮТҚЫРЛЫ МҰНАЙ ҚАБАТ МОДЕЛІНЕ ПОЛИМЕР ЕРІТІНДІСІН АЙДАУ ТӘЖІРИБЕСІНІҢ НӘТИЖЕЛЕРІ

Аннотация. Мұнай кен орындарын суландыру кезінде қабаттың әртектілігі мен судың біркелкі таралмауы ұңғымалардың ерте сулануына және мұнай беру тиімділігінің төмендеуіне себеп болады. Осы мәселені шешу үшін қабатқа әсер етудің түрлі әдістері қолданылады, олардың ішінде мұнайды ығыстыру тиімділігін арттыратын полимерлі суландыру технологиясы кеңінен қолданылады. Мақалада мұнай бергіштік коэффициентінің (МБК) айдалған су көлеміне және өлшемсіз уақытқа байланысты өзгерісін талдауға мүмкіндік беретін тәжірибелік модель сипатталған. Бұл модель ортаның өткізгіштігі мен кеуектілігін, флюидтердің физика-химиялық қасиеттерін және ығыстыру процесіне әсер ететін капиллярлық пен гравитациялық күштерді ескереді. МБК-ті есептеу материалдық баланс теңдеуінің негізінде жүргізіледі, ал мәліметтерді қалыпқа келтіру өлшемсіз уақыт арқылы жүзеге асырылады. Мұндай тәсіл ығыстыру тиімділігін тиімді бағалауға мүмкіндік береді.

Үйінді сөздер: мұнай бергіштік коэффициенті, кеуек көлемі, кварц құмы, уақыт, су, полиакриламид, дистилденген су, мұнай, қабат.

The results of experimental injection of polymer solution into a model of a high-viscosity oil formation

Abstract. When oil fields are flooded, formation heterogeneity and uneven water distribution lead to premature flooding of wells and a decrease in oil recovery efficiency. To solve this problem, various reservoir stimulation methods are used, among which polymer flooding technology is widely used, which increases the efficiency of oil displacement. The article describes an experimental model that allows analyzing the change in the oil recovery factor (ORF) depending on the injected water volume and dimensionless time. The model takes into account the permeability and porosity of the medium, the physicochemical properties of the fluids, as well as capillary and gravitational forces affecting the displacement processes. The RF is calculated on the basis of the material balance, and the data normalization is based on dimensionless time. This approach enables efficient evaluation of displacement efficiency.

Key words: oil recovery factor, pore volume, quartz sand, time, water, polyacrylamide, distilled water, oil, formation.

Результаты экспериментальной закачки полимерного раствора в модель пласта с высоковязкой нефтью

Аннотация. При заводнении нефтяных месторождений неоднородность пласта и неравномерное распределение воды приводят к преждевременному обводнению скважин и снижению эффективности извлечения нефти. Для решения этой проблемы применяются различные методы воздействия на пласт, среди которых широко используется технология полимерного заводнения, повышающая эффективность вытеснения нефти. В статье описана экспериментальная модель, позволяющая проанализировать изменение коэффициента извлечения нефти (КИН) в зависимости от закачанного объема воды и безразмерного времени. Модель учитывает проницаемость и пористость среды, физико-химические свойства флюидов, а также капиллярные и гравитационные силы, влияющие на процессы вытеснения. Расчет КИН осуществляется на основе материального баланса, а нормализация данных – по безразмерному времени. Такой подход позволяет эффективно оценивать эффективность вытеснения.

Ключевые слова: коэффициент извлечения нефти, объем пор, кварцевый песок, время, вода, полиакриламид, дистиллированная вода, нефть, пласт.

Кіріспе

Мұнай өндіру саласында қабаттардың мұнай бергіштік коэффициентін арттыру мақсатында су-мұнаймен қаныққан қабаттарға белсенді әсер ету әдістерін қолдану маңызды болып табылады. Бұл технологиялар қабаттардағы сұйықтықтарды қайта бөлуді жақсартып, су айдау аймағының қамтылуын арттыру арқылы мұнай қорларын неғұрлым толық әрі тиімді игеруге мүмкіндік береді.

Қазіргі кездегі көптеген теориялық және эксперименттік зерттеулерді бағалау барысында бірнеше маңызды факторлар қарастырылады. Мұнай кен орындарын игеру тиімділігіне әсер ететін ең маңызды факторлардың қатарында қабат жағдайындағы мұнай мен судың қозғалғыштық коэффициенттерінің арақатынасы, мұнайдың тұтқырлығы, мұнай бергіштік коэффициент көрсеткіштері сияқты сипаттамалар. Жоғары тұтқырлы мұнайды ығыстыру жағдайында, тіпті біртекті қабаттарда да, тұтқырлыққа байланысты орнықсыздық құбылысы туындайды, бұл мұнайды ығыстыру тиімділігін төмендетеді. Төмен тұтқырлықтағы мұнайы бар табиғи қабаттарда коллекторлық қасиеттердің айырмашылығы мұнай мен судың қабат ішінде біркелкі таралмауына әсер етеді. Суландыру жүйесінің тиімділігін арттыру үшін өнімді қабаттарға физика-химиялық әсер ету әдістерін енгізу арқылы жүзеге асырылуы мүмкін екендігін көрсетеді.

Соңғы жылдары физика-химиялық әсер ету әдістері тәжірибеде кеңінен қолданылады. Мұндай әдістердің құрамына беттік белсенді заттарды, полимерлерді, қышқылдарды, мицеллярлар және сілтілі ерітінділерді айдау жатады. Аталған химиялық реагенттердің әрқайсысы

кеуекті орта мен мұнайға өзіндік әсерін тигізеді. Мысалы, беттік-белсенді заттар мұнай мен су арасындағы фаза аралық беттік керілуді төмендету арқылы капилляр арнадағы мұнайдың қозғалғыштығын артырса, сілтілі реагенттер көбіне синергетикалық әсерді күшейту мақсатында қолданылады. Ал микрогельдер мен наногельдер – құрамында полимердің ұсақ бөлшектері бар химиялық реагенттер болып табылады. Олардың негізгі мақсаты – судың сіңірілетін аймақтардағы өткізгіштігін төмендету және орын ауыстырумен қамтылмаған аймақтарға суды бағыттау.

Мұнай қайтарымын арттырудың химиялық әдістері (EOR) қабатты қамту тиімділігін және қиын өндірілетін мұнайды алу дәрежесін жоғарылатуға бағытталған. Полимерлі ығыстыру процесін жүзеге асыру көбінесе судың сапасына, оны дайындау деңгейіне, сондай-ақ реагент құрамындағы әрбір компоненттің ұсталып қалу (адсорбциялану) шамасына тәуелді. Қазіргі уақытта полимерлі сулану – мұнай кен орындарында қолданылатын ең өзекті және тиімді айдау әдістерінің бірі болып табылады [1–3]. Суда еритін полимерлерді ерітіндіге қосу судың тұтқырлығын арттырады, нәтижесінде флюидтердің қозғалысын тиімді бақылауға мүмкіндік береді және судың мұнайға қатысты салыстырмалы өткізгіштігін төмендетеді. Полимер қозғалғыштығын азайту мақсатында су қосылады. Полимерлерді қолдану нәтижесінде су фазасының өткізгіштігі едәуір төмендейді, ал мұнайды сумен ығыстыру фронты теңестіріледі. Бұл ұңғымаларды суланусыз пайдалану кезеңін ұзартып, мұнайды алу тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Полимерді айдау технологиясы әдетте жоғары температурада жүзеге асырылады.

Полимерді (немесе қорғаныш қоспаларын) дұрыс таңдау – полимерлі суландыру технологиясының негізгі факторы болып табылады. Бұл технологияны ұзақ мерзімді тиімді іске асыруда шешуші рөл атқарады. Кез келген зерттеудің алғашқы қадамы – қабатқа айдалынатын сұйықтықтың қажетті тұтқырлық деңгейін анықтау болып табылады. Осыдан кейін бірнеше негізгі параметрді ескере отырып, ең қолайлы полимерді таңдау кезінде келесі факторлар ескеріледі:

- қабаттың температурасы;
- айдалатын судың минералдану дәрежесі;
- қабаттың өткізгіштігі [4–6].

Полимер тау жынысына иондық күштер немесе сутектік байланыстары арқылы жабысады. Полимер молекулаларының тау жынысы бетіне бекінуі көбінесе қайтымсыз адсорбция ретінде қарастырылады. Сонымен қатар, өте ірі полимер молекулалары тар кеуекті арналардың кіреберісінде физикалық түрде бөгіліп қалуы мүмкін. Полимер ерітіндісі тау жыныстарымен және қабат суымен әрекеттескен кезде, ерітіндідегі полимер концентрациясы өзгереді. Соның нәтижесінде полимер фронты алдында қабат суы жиналып, оның артында полимердің белгілі бір мөлшерін жоғалтқан су қабаты түзіледі. Судың минералдану деңгейінің жоғарылауы мен қабат өткізгіштігінің төмендеуі жағдайында адсорбция деңгейі артады. Полимер ерітіндісінің тұтқырлығына саздың жоғары мөлшері, кальций, магний және алюминий катиондары айтарлықтай әсер етеді. Бұл полимер ерітіндісі тұтқырлығының төмендеуіне, сүзу кедергісінің азаюына және адсорбция деңгейінің өсуіне алып келеді [7, 8].

Әртүрлі факторлардың әсерінен сулы ерітіндідегі полимер молекулалары деструкцияға ұшырап, бұзылады. Деструкция полимердің молекулалық массасын азайтып, оның қоюлану қабілетін төмендетеді. Полимер деструкциясы келесі түрлерге бөлінеді: химиялық, термиялық, механикалық және микробиологиялық. Химиялық деструкция бос радикалдардың түзілу нәтижесінде жүреді, олар полимер молекуласымен әрекеттесіп, молекулалық массаның төмендеуіне әкеледі. Мұндай процес тотығу-тотықсыздану реакция кезінде байқалады, оған оттегі, сутегі немесе темір сульфиді сияқты қоспалар қатысады. Бұл қоспалар көбіне қабат суларында кездесетіндіктен, полимерлі суландыру кезінде судың сапасына ерекше мән беру қажет. Температураның жоғарылауымен термиялық деструкция жүреді. Полимердің әртүрлі маркалары үшін температураның төзімділік шегі әртүрлі болады. Механикалық деструкция полимер молекулаларының немесе олардың агрегаттарының жоғары қозғалыс жылдамдығында, сондай-ақ, құбырлардағы әртүрлі қысым айырмашылығының кенет өзгерісі кезінде үзілуіне байланысты туындайды. Полимердің молекулалық массасы мен тізбектерінің ұзындығы неғұрлым үлкен болса, оның механикалық деструкцияға сезімталдығы соғұрлым жоғары болады. Микробиологиялық деструкция мұнай қабатына су айдау кезінде пайда болатын аэробты бактериялардың әсерінен жүзеге асады. Бұл бактериялар мұнай құрамындағы компоненттерді тотықтыра отырып, полимер молекулаларын ыдыратуы мүмкін [9, 10].

Барлық өндірістік полимерлер іс жүзінде полиакриламидтер мен полисахаридтер (биополимерлер) болып, екі класқа

бөлінеді. Полимерді таңдау кезінде оның тұтқырлығы маңызды рөл атқарады. Полимердің тұтқырлығына әсер ететін бірнеше факторлар бар, және олардың процеске әсер ету мүмкіндігін ескеру қажет. Тұтқырлығы жоғары полимерлер қабаттың көлемдік қамтылу коэффициентін арттыруға мүмкіндік береді. Мұндай полимерлер, әсіресе өткізгіштігі жоғары қабаттарда, «гель» тәрізді қасиет көрсетіп, сұйықтық ағынын шектеуге қабілетті болып табылады. Егер полимердің тұтқырлығы жоғары болса, онда ол қабат суымен немесе су сыйымдылығы жоғары горизонттарда араласу дәрежесін төмендетеді. Тұтқырлық пен концентрацияның жоғарылауымен полимер үлкен көлемді ығыстыра алады, бұл үлкен артықшылығы болып табылады. Қолданылатын полимерлер жоғары тұтқырлықпен қатар, тиксотроптылы және псевдопластикалық қасиеттерге ие. Осы қасиеттерге сүйене отырып, әртүрлі маркадағы полимерлер таңдалады. Полимердің ішіндегі көп таралған түрі – синтетикалық полимер болып табылады. Синтетикалық полимердің ішіндегі – полиакриламид (ПАА) қолданысқа көп ие. Себебі, бағасы арзан және акрил қышқылының туындысы болып табылатын сызықты құрылымды полимер. Акриламид негізіндегі синтетикалық полиакриламидтер өздерінің жоғары реологиялық қасиеттері мен тұтқыр-серпімділік сипаттамаларына байланысты мұнай алуды ұлғайту әдістерінде кеңінен қолданылады. Бұл полимерлердің құрылымында амидтік және карбоксилаттық топтар бар. Олардың ішінде гидролизденген полиакриламид (НРАМ) мұнай кен орындарында қолдануға арналған ең кең таралған полимер болып есептеледі [11]. Акриламид – акрилонитрилден алынатын, суда жақсы еритін, ақ түсті кристалл тәрізді қосылыс. Оның құрамында электрон тапшылығы бар қос байланыс және амид тобы орналасқан, сондықтан ол осы екі функционалдық топқа тән химиялық реакцияларға түседі. Акриламид риттер реакциясы арқылы алынады: бұл реакцияда акрилонитрил мен изобутилен әрекеттесіп, терт – бутилсульфон қышқылы, күкірт қышқылы және су катализатор ретінде қолданылады. Нәтижесінде амид тобы бар мономер түзіледі. Қазіргі уақытта акриламидтің термиялық тұрақтылығын арттыру, әсіресе амид топтарының жоғары температурасындағы беріктігін қамтамасыз ету бағытында ғылыми зерттеулер жүргізілуде.

Полиакриламид бірқатар бірнеше құнды қасиеттерге ие. Олардың қатарында жоғары тұтқырлық, флокуляция қабілеті және гель түзушілік сияқты қасиеттерімен ерекшеленеді. Алайда, полиакриламиданың кейбір кемшіліктері де бар, олардың ішінде гидролизге бейімділігі ерекше атап өтіледі. Гидролиз нәтижесінде полиакриламид құрылымында карбоксилат топтарының пайда болуына әкеледі. Карбоксилат топтары гидрофильді сипатқа ие болғандықтан, молекула құрылымына суды тартады, нәтижесінде полиакриламид ісініп, толықтай еруі мүмкін. Мұндай өзгерістер полиакриламиданың технологиялық тиімділігін төмендетеді. Амид топтарының артық гидролизі әртүрлі факторлардың әсерінен болуы мүмкін. Оларға жоғары температура, ортаның қышқылдық дәрежесі және микроорганизмдердің белсенділігі жатады.

Полиакриламид молекулалық салмағының жоғары болуы, амидтік топтардың қатысуымен жүретін күшті молекулааралық өзара әрекеттесудің, сондай-ақ макромолекулалық тізбекте сирек кішірейтілген учаскелердің болуымен түсін-

діріледі. Бұл жағдай оның суда ерігіштік қабілетін шектейді. Сонымен қатар, полиакриламид молекулалық ассоциацияға бейім болып, ерітінді тұтқырлығын арттырады. Полиакриламид ерітінділері жоғары тұтқырлықпен және өзіне тән псевдопластикалық қасиеттермен (кеңейтілген сұйықтық, яғни Дарси заңына бағынбайды) сипатталады. Сондықтан қысым градиентінің өсуімен полимерлі ерітіндінің жылдамдығы аз ғана өседі. Тұщы суда карбоксил тобының зарядтарының өзара тебілуіне байланысты полиакриламид молекулалық тізбектері созылып, ерітіндінің тұтқырлығын арттырады. Ал керісінше, тұздылығы жоғары суларда бұл зарядтар бейтараптанады немесе иондық қабықшамен жабылады, нәтижесінде икемді тізбектері жиырылып, ерітінділердің тұтқырлығы төмендейді. Полиакриламид 130 °C-қа дейін ыстыққа төзімді болып, термиялық тұрақтылығын сақтай алады. Оттегі болмаған кезде полиакриламид ұзақ уақыт бойы өзінің қасиеттерін сақтайды [12]. Полимерлі ерітінділерді қолдану әртүрлі механизмдер арқылы бітеп тастауға немесе кеуекті ортаның сумен қанығу деңгейін төмендетуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Коллектор моделіндегі кеуекті орта ретінде кварц құмы мен маршалиттің дисперстік қоспасы қолданылды. Белгілі бір өткізгіштікке ие үлгілерді алу мақсатында қоспа компоненттері әртүрлі массалық қатынаста араластырылып, маршалиттің үлесі реттелді. Құрамында 0.125–0.25 мм аралығындағы фракциядағы кварц құмы пайдаланылды. Алдын ала жүргізілген зертханалық зерттеулер барысында қоспаның абсолюттік өткізгіштігінің маршалиттің құрамдағы мөлшеріне тәуелділігі анықталып, бұл деректер негізінде қабат жағдайларына сәйкес компоненттердің оңтайлы қатынасы таңдалды. Абсолюттік өткізгіштік – бұл кеуекті ортаның белгілі бір физикалық жағдайларда сұйықтықтар мен газдарды өткізу қабілетін сипаттайтын маңызды параметр. Осы көрсеткішті анықтау мақсатында әртүрлі мөлшердегі маршалитпен дайындалған қоспаларға зертханалық жағдайда тәжірибелер жүргізіліп, олардың өткізгіштік мәндері өлшенді. Алынған нәтижелер арқылы кеуекті ортаның құрылымы мен құрамының өткізгіштікке әсері талданды.

Дайындалған қоспа белгілі геометриялық параметрлері бар цилиндр тәрізді лабораториялық модельге (сызықты типтегі) тығыздалып орналастырылды. Кеуекті ортаның сұйықтыққа қатысты өткізгіштігі Дарси заңы негізінде анықталды. Кейіннен материалдық баланс әдісі қолданылып, тәжірибе барысында алынған деректер – қабаттан шыққан судың көлемі, бастапқы және қалдық су көлемі (поджимкада) – негізінде кеуекті кеңістікте орналасқан судың мөлшері есептелінді. Бұл өз кезегінде зерттеліп отырған қабат моделінің кеуекті көлемін анықтауға мүмкіндік береді. Келесі кезеңде, кеуекті орта мұнаймен қанықтырылды. Қанықтыру аяқталғаннан кейін, модельге тұрақты жылдамдықпен су айдау процесі жүргізілді. Эксперимент барысында айдалған судың және ығыстырылған мұнайдың көлемдері анықталып, осы мәліметтер негізінде ығыстыру параметрлері есептелінді.

Айдалған су мен ығыстырылған мұнай көлемдері жүйелі түрде анықталды. Осы деректер негізінде ығыстыру

параметрлері есептелінді. Эксперимент барысында қысым көрсеткіштері шамамен ± 0.05 МПа дәлдікпен жұмыс істейтін үлгілік манометрлер көмегімен бақыланды. Олар ығыстыру процесі кезінде үлгінің кіріс және шығыс аймақтарындағы қысым айырмасын анықтауға қолданылды. Сұйықтық көлемдерін өлшеу үшін ± 0.5 мл дәлдігі бар мензуркалар арқылы жүргізілді. Барлық өлшеу құралдары қажетті техникалық талаптарға сәйкестігі тексерілді. Құралдардың дәлдігі алынған деректердің сенімділігіне әсер ететін негізгі фактор болғандықтан, эксперименттік нәтижелерді өңдеуге және мәліметтер динамикасын зерттеуге жол ашты.

Нәтижелер мен талқылау

Бірінші кестеде кеуекті орта моделіне су айдау арқылы мұнайды ығыстыру нәтижелері өлшемсіз түрде келтірілген. Зерттеудің негізгі бағыты – салыстырмалы мұнай бергіштік коэффициент тиімділігінің (η_1 , η_2) және айдалған су көлемінің ($V/V_{кеу}$, $V/V_{кеу}$) өлшемсіз уақытқа (t_b) тәуелділігін талдау болып табылады. Негізгі назар салыстырмалы мұнай бергіштік коэффициентінің (η_1 , η_2) және айдалған судың көлемінің ($V/V_{кеу}$, $V/V_{кеу}$) өлшемсіз уақытқа (t_b) байланысты өзгерістерін талдауға бағытталды. Зерттеу барысында мұнайды ығыстыру тек дистилденген сумен жүргізілді. Мұнай өндіру тиімділігін арттыру мақсатында полиакриламидті енгізу ұсынылды. Эксперимент барысында полимерлік ерітінді өткізгіштігі жоғары қабатқа түседі. Бірақ ерітіндінің жоғары тұтқырлығы мен кеуекті ортаның сүзілуінің төмендеуінен сұйықтық ағындарының динамикалық біртектілігі төмендейді. Бұл өз кезегінде сұйықтықтың қабаттарға таралу сипаттамасын өзгертеді. Соның нәтижесінде, сұйықтық көбірек бөлігі өткізгіштігі төмен қабатқа бағытталады. Бұл құбылыс біртекті емес қабаттардың мұнай алу тиімділігін арттыруға ықпал етеді. Осыған байланысты, ПАА ерітіндісін пайдалану арқылы қабаттағы өткізгіштік айырмашылықтар теңестіріледі. Бұл өткізгіштігі төмен қабаттың мұнай бергіштігін арттырады. Өткізгіштігі төмен қабатты игеруге қосу мақсатында, өткізгіштігі жоғары қабатқа 0,5% концентрациялы жиегі айдалады. Нәтижесінде, өткізгіштігі жоғары қабаттың мұнай бергіштік коэффициентінің өсуі баяулайды, ал өткізгіштігі төмен қабатта арта түседі. Бірінші эксперименттің нәтижесі бойынша, полиакриламидті қолданылғанға дейінгі бастапқы салыстырмалы мұнай бергіштік коэффициенті $\eta_1 = 47\%$ мәнінде болса, ал полиакриламидті қолданып бастағаннан кейінгі ($t = 0.42 - 0.88$ уақыт аралығында) бұл көрсеткіш $\eta_2 = 66\%$ -ға дейін артқаны көрсетілді. Бұл нәтиже полиакриламид ерітіндісінің мұнайды ығыстыру тиімділігін едәуір жақсартатынын көрсетеді.

Екінші эксперимент нәтижелері бойынша, полиакриламид енгізілгенге дейінгі мұнай бергіштік коэффициентінің мәндік көрсеткіші $\eta_1 = 20\%$ деңгейінде болды. Ал полиакриламидті қолданғаннан кейін, $t = 0.42 - 0.88$ уақыт аралығында бұл көрсеткіш $\eta_2 = 32\%$ -ға дейін артты. Мұндай нәтиже полиакриламидтің төмен бастапқы бергіштік жағдайында да мұнайды ығыстыру тиімділігін белгілі бір деңгейде жақсартуға ықпал ететінін көрсетеді.

Кесте 1

Эксперименттердің нәтижелері. Мұнай бергіштік коэффициентінің өлшемсіз уақыт пен бастап айдалған судың мөлшеріне тәуелді көрсеткіштер

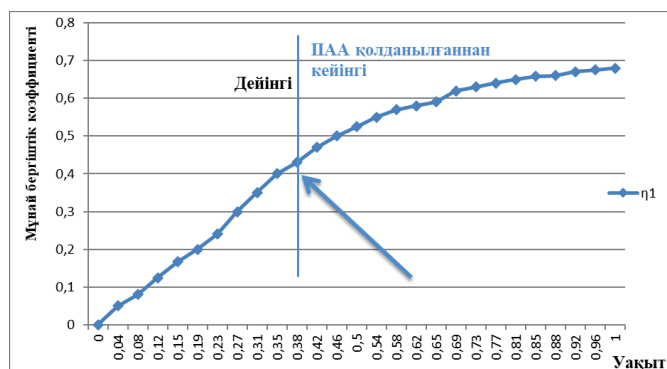
Table 1

Experimental results: indicators of the dependence of oil recovery factor on dimensionless time and injected water volume

Таблица 1

Результаты экспериментов. Показатели зависимости коэффициента извлечения нефти от времени и количества закачанной воды

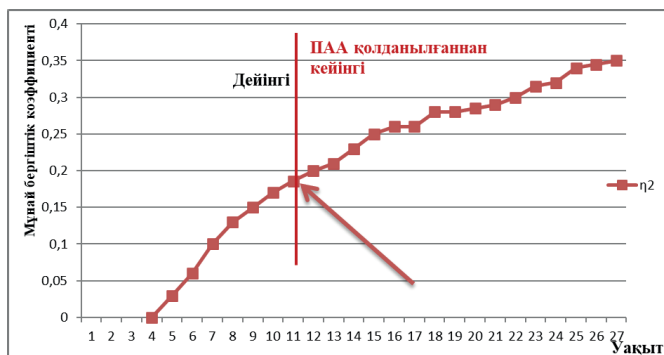
Параметрлер уақыт / Өлшемсіз	η_1	η_2	$V_1/V_{кеу}$	$V_2/V_{кеу}$
0	0		0	
0.04	0.05		0.08	
0.08	0.08		0.15	0
0.12	0.125	0	0.28	0.02
0.15	0.167	0.03	0.4	0.07
0.19	0.2	0.06	0.54	0.11
0.23	0.24	0.1	0.75	0.15
0.27	0.3	0.13	0.97	0.23
0.31	0.35	0.15	1.23	0.36
0.35	0.4	0.17	1.46	0.52
0.38	0.43	0.186	1.7	0.69
0.42	0.47	0.2	2.2	0.9
0.46	0.5	0.21	2.5	1.15
0.5	0.525	0.23	2.9	1.26
0.54	0.55	0.25	3.4	1.35
0.58	0.57	0.26	3.7	1.49
0.62	0.58	0.26	4.1	1.65
0.65	0.59	0.28	4.45	1.8
0.69	0.62	0.28	4.78	1.9
0.73	0.63	0.285	5	2
0.77	0.64	0.29	5.25	2.2
0.81	0.65	0.3	5.4	2.5
0.85	0.658	0.315	5.5	2.7
0.88	0.66	0.32	5.5	2.9



Сурет 1. Бірінші эксперименттің мұнай бергіштік коэффициентінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі.

Figure 1. Dependence of the first experiment oil recovery factor on dimensionless time.

Рис. 1. Зависимость коэффициента извлечения нефти первого эксперимента от времени.



Сурет 2. Екінші эксперименттің мұнай бергіштік коэффициентінің өлшемсіз уақытқа тәуелділігі.

Figure 2. Dependence of the second experiment oil recovery factor on dimensionless time.

Рис. 2. Зависимость коэффициента извлечения нефти второго эксперимента от времени.

1 және 2-суреттерімізде полиакриламид айдалғанға дейінгі және кейінгі мұнай бергіштік коэффициенттерінің өзгерісі көрсетілді. Суреттегі қызыл және көк түсті сызықтар айдауға дейінгі және айдаудан кейінгі жағдайларды бейнеленді, бұл полиакриламидті пайдалану барысында мұнай бергіштікке оң әсер еткенін көрсетеді. Суретте бейнеленген сызықтар мұнайды ығыстыру процесінің қарқындылық деңгейін және уақытқа байланысты өзгеру динамикасын көрнекті түрде көрсетеді. Өлшемсіз уақыттың t_b ұлғаюна қарай η_1 мәнінің тұрақты өсуі алынған нәтижелерден байқалады, яғни бастапқы кезеңде 0.00-ден бастап $t_b = 0.88$ аралығында 0.67-ге дейін өсті. Бұл көрсеткіш модельдің кеуек көлеміне қатысты айдалған судың көлемінің 0.00-ден 5.5-ке дейін біртіндеп ұлғаюына сәйке келеді. Қосымша ығыстырылған мұнай көлемінің пайда болуы, η_2 мәнінің бастапқы кезеңде 0.00-ден $t_b = 0.88$ кезінде 0,32-ге дейін артуымен және осы аралықта айдалған судың көлемінің $V_2/V_{кеу} = 2.9$ мәніне жетуі жүйеде мұнайды ығыстырудың қосымша механизмі іске қосылғанын көрсетуі мүмкін. Бұл қосымша механизм ретінде қалдық мұнайдың қайта ығыстырылуы немесе жүйедегі сулану қабілетінің өзгеруімен түсіндіруге болады. Мұндай әсер, әсіресе полиакриламид сияқты реагенттердің қабат ішіндегі физика-химиялық қасиеттерге әсер етуімен тығыз байланысты болуы мүмкін.

Қорытынды

Эксперименттің нәтижелері арқылы полиакриламидті қолданған кезде, мұнай бергіштік коэффициентінің тиімділігі артқаны көрсетілді. Атап айтқандай, мұнай бергіштік көрсеткіштері тиісінше 67% және 32%-ға артуы реагенттің оң әсерін сипаттады. Ең жоғары мұнай бергіштік көрсеткішіміз $t_b = 0.42-0.88$ уақыт аралығында көрсетілсе, бұл кезеңде жүйеге қосымша 3.3 кеуектік көлем су айдалды. Сонымен қатар, η_1 және $V_1/V_{кеу}$ көрсеткіштері арасындағы өзара сызықты байланыс байқалады, бұл су айдау режиміне тән сипаттама болып табылады. Ал жүйенің ($t_b = 0.12$ шамасында) η_2 және $V_2/V_{кеу}$ мәндерінің өсуі қабаттағы қалдық мұнайды ығыстырылуы мүмкін екендігін көрсетеді. Қоры-

тындылай келе, алынған нәтижелер полиакриламидтің қабат ішіндегі фильтрациялық процестерге әсер етіп, мұнай бергіштік коэффициент тиімділігінің артатынын көрсетеді.

АЛҒЫС

Қаржыландыру. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және Ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (АР22685524 гранты).

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Амер Әл-Анази, Зияд Әл-Қайдар, Джинхун Ван. Полиакриламид негізіндегі органикалық түрде тігілген гель жүйесінің гель түзу уақытын үлгілеу: қабаттағы ағындарды басқаруға арналған қолдану // SPE Ресейлік мұнай технологиялары конференциясы, Ресей, Мәскеу, 2019 жылғы 22–24 қазан (ағылшын тілінде)
2. Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. Мұнайды ығыстыру агенттері ретінде қолдануға арналған су ерітіндісіндегі полимерлер негізіндегі композициялар // НефтеГазоХимия. 2016. № 3. Б. 17–19 (орыс тілінде)
3. Альказар-Вара Л.А., Замудио-Ривера Л.С., Буэнросто-Гонсалес Э. (2016 жылғы 19 қазан). Мұнай қайтарымын арттыру үдерісінде көпфункционалды реагенттерді қолдану // Химиялық тәсілмен мұнай алуды арттыру (EOR) – практикалық шолу. <https://www.intechopen.com/chapters/52245> (ағылшын тілінде)
4. Шарипов А.У., Антонов К.В., Лукманов Р.Р. Терең ұңғымаларды бұрғылау және аяқтау кезінде полимер ерітінділерін әзірлеу және қолдану: Уфа: Тау, 2003. 168 б. (орыс тілінде)
5. Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. Мұнайды ығыстыруға арналған су ерітіндісіндегі полимерлер негізіндегі композициялар // НефтеГазоХимия. 2016. № 3. Б. 17–19 (орыс тілінде)
6. Федорова А.Ф., Портнягин А.С., Шиц Е.Ю. Оңтүстік-Батыс Якутия кен орындарының қабат жағдайларында полимер ерітінділерінің мұнайды ығыстыру қасиеттері // Мұнай-газ ісі. 2012. № 2. Б. 189–193 (орыс тілінде)
7. Мұнай өндіруде полимерлік реагенттерді қолданудың жаңа технологиялары / Шевцов И.А. [және т. б.] // Мұнай шаруашылығы. 2001. № 7. Б. 28–30 (орыс тілінде)
8. Джоуэн С., Клименко А., Левитт Д. Полимерлі сулану: Инъекциялық судағы еріген оттегі мен темірге арналған спецификацияларды орнату // Қағаз SPE 179614 Тулса, Оклахома, АҚШ, 11-13 сәуірде өткен SPE жақсартылған мұнайды қалпына келтіру конференциясында ұсынылған (ағылшын тілінде)
9. Химченко П.В. Температурасы жоғары және минералданған кен орындарында полимерлі сулануға арналған полимерді және полиакриламид негізіндегі композицияны таңдауды негіздеу: т.ғ.к. ... дәрежесін алу үшін дисс.: М., 2019 (орыс тілінде)
10. Смит Ф.В. Кеуекті ортадағы ішінара гидролизделген полиакриламид ерітінділерінің әрекеті // Мұнай өнеркәсібі. 1970. Т. 22. № 2. Б. 148–156 (ағылшын тілінде)
11. Полимерлі су айдау технологиясына шолу: реология, адсорбция, тұрақтылық және әртүрлі полимерлік жүйелердің өндірістік қолданылуы / Камаль М.С. [және т. б.] // Polym. Rev. 2015. Т. 55. Б. 491–530 (орыс тілінде)
12. Кукин В.В., Соляков Ю.В. Қабаттардың мұнай қайтарымын арттыру үшін су ерітіндісіндегі полимерлерді қолдану: М.: ВНИИОЭНГ, 1982. 44 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Amer Al-Anazi, Ziyad Al-Kaidar, Jinxun Wang. Modeling Gilation Time of Organically Grosslinked Polyacrylamide Gel System for Conformance Control Applications // SPE Russian Petroleum Technology Conference, Russia, Moscow, October 22–24, 2019 (in English)
2. Babaev E.R., Mamedova P.Sh., Soltanova Z.G. Kompozitsii na osnove vodorastvorimyykh polimerov dlya primeneniya v kachestve agentov vytesneniya nefi [Compositions Based on Water-Soluble Polymers for Use as Oil Displacement Agents], NefteGazoKhimiya [Oil and Gas chemistry]. 2016. No. 3. 17–19 pp. (in Russian)
3. Alcazar-Vara L.A., Zamudio-Rivera L.S., Buenrostro-Gonzalez E. (October 19, 2016). Application on Multifunctional Agents During Enhanced Oil Recovery // Chemical Enhanced Oil Recovery (cEOR) – a Practical Overview. <https://www.intechopen.com/chapters/52245> (in English)
4. Sharipov A.U., Antonov K.V., Lukmanov R.R. Razrabotka i primeneniye polimernykh rastvorov pri burenii i zakanchivanii glubokikh skvazhin [Development and Application of Polymer Solutions for Drilling and Completion of Deep Wells]. Ufa: Tau, 2003. 168 p. (in Russian)
5. Babaev E.R., Mamedova P.Sh., Soltanova Z.G. Kompozitsii na osnove vodorastvorimyykh polimerov dlya primeneniya v kachestve vytesneniya nefi [Compositions Based on Water-Soluble Polymers for

- Oil Displacement Applications*], *NefteGazoKhimiya [Oil and Gas chemistry]*. 2016. No. 3. 17–19 pp. (in Russian)
6. Fedorova A.F., Portnyagin A.S., Shits E.Yu. *Neftevytesnyayushchie svoystva rastvorov polimerov v plastovykh usloviyakh mestorozhdenii Yugo-Zapadnoi Yakutii [Oil-Displacing Properties of Polymer Solutions Under Reservoir Conditions of South-West Yakutia Fields]*, *Neftegazovoe delo [Oil and Gas Business]*. 2012. No. 2. 189–193 pp. (in Russian)
 7. *Novye tekhnologii primeneniya polimernykh reagentov v dobyche nefti [New technologies for the use of polymer reagents in oil production]*, Shevtsov I.A. [et al.], *Neftyanoe khozyaistvo [Oil industry]*. 2001. No. 7. 28–30 pp. (in Russian)
 8. Jouenne S., Klimentko A., Levitt D. *Polimer Flooding: Establishing Specifications for Dissolved Oxygen and Iron in Injection Water // Paper SPE 179614 presented at the SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, Oklahoma, USA, 11–13 April, 2016 (in English)*
 9. Khimchenko P.V. *Obosnovanie vybora polimera i kompozitsii na osnove poliakrilamida dlya polimernogo zavodneniya na mestorozhdeniyakh s vysokoi temperaturoi i mineralizatsiei: diss. ... na soiskanie k.t.n. [Justification of the choice of a polymer and composition based on polyacrylamide for polymer flooding at fields with high temperature and mineralization: diss. ... for the degree of candidate of technical sciences]*. Moscow, 2019 (in Russian)
 10. Smith F.W. *The behavior of partially hydrolyzed polyacrylamide solutions in porous media // J. Petrol. Technol.* 1970. V. 22. No. 2. 148–156 pp. (in English)
 11. Kamal M.S., Sultan A.S., Al-Mubaiyed U.A., Hussein I.A. *Obzor polimernogo zavodneniya: reologiya, adsorbtsiya, stabil'nost' i polevye primeneniya razlichnykh polimernykh sistem [A Review of Polymer Flooding: Rheology, Adsorption, Stability, and Field Applications of Different Polymer Systems]*, *Polym. Rev. [Polym. Rev.]*. 2015. V. 55. 491–530 pp. (in Russian)
 12. Kukin V.V., Solyakov Yu.V. *Primenenie vodorastvorimykh polimerov dlya povysheniya nefteotdachi plastov [Application of Water-Soluble Polymers to Enhance Oil Recovery from Reservoirs]*. Moscow: VNIIOENG, 1982. 44 p. (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амер Ал-Анази, Зияд Ал-Кайдар, Джинхун Ван. *Моделирование времени гелеобразования органически сшитой гелевой системы на основе полиакриламида для применения в контроле контурного перераспределения потоков // Конференция SPE по нефтяным технологиям в России, Россия, Москва, 22–24 октября 2019 г. (на английском языке)*
2. Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. *Композиции на основе водорастворимых полимеров для применения в качестве агентов вытеснения нефти // НефтеГазоХимия. 2016. № 3. С. 17–19 (на русском языке)*
3. Альказар-Вара Л.А., Замудио-Ривера Л.С., Буэнросто-Гонсалес Э. (19 октября 2016 г.). *Применение многофункциональных реагентов в процессе увеличения нефтеотдачи. Химическое повышение нефтеотдачи (сEOR) – практический обзор. <https://www.intechopen.com/chapters/52245> (на английском языке)*
4. Шарипов А.У., Антонов К.В., Лукманов Р.Р. *Разработка и применение полимерных растворов при бурении и заканчивании глубоких скважин: Уфа: Тау, 2003. 168 с. (на русском языке)*
5. Бабаев Э.Р., Мамедова П.Ш., Солтанова З.Г. *Композиции на основе водорастворимых полимеров для применения в качестве вытеснения нефти // НефтеГазоХимия. 2016. № 3. С. 17–19 (на русском языке)*
6. Федорова А.Ф., Портнягин А.С., Шиц Е.Ю. *Нефтевытесняющие свойства растворов полимеров в пластовых условиях месторождений Юго-Западной Якутии // Нефтегазовое дело. 2012. № 2. С. 189–193 (на русском языке)*
7. *Новые технологии применения полимерных реагентов в добыче нефти / Шевцов И.А. [и др.] // Нефтяное хозяйство. 2001. № 7. С. 28–30 (на русском языке)*
8. Джоуэн С., Климентко А., Левитт Д. *Полимерное заводнение: установление спецификаций для растворенного кислорода и железа в закачиваемой воде // Доклад SPE 179614, представленный на конференции SPE по улучшению нефтеотдачи, состоявшейся в г. Талса, штат Оклахома, США, 11–13 апреля 2016 г. (на английском языке)*
9. Химченко П.В. *Обоснование выбора полимера и композиции на основе полиакриламида для полимерного заводнения на месторождениях с высокой температурой и минерализацией: дисс. ... на соискание к.т.н.: М., 2019 (на русском языке)*
10. Смит Ф.В. *Поведение растворов частично гидролизованного полиакриламида в пористых средах // Нефтяная промышленность. 1970. Т. 22. № 2. С. 148–156 (на английском языке)*

11. Обзор полимерного заводнения: реология, адсорбция, стабильность и полевые применения различных полимерных систем / Камаль М.С. [и др.] // *Polym. Rev.* 2015. Т. 55. С. 491–530 (на русском языке)
12. Кукин В.В., Соляков Ю.В. Применение водорастворимых полимеров для повышения нефтеотдачи пластов: М.: ВНИИОЭНГ, 1982. 44 с. (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Хадиева Ә.С., Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті, «Мұнайхимиялық инжиниринг» кафедрасының Ph.D докторанты (Ақтау қ., Қазақстан), hadieva_albina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1123-0445>

Джалалов Г.И., Әзірбайжан Ұлттық Ғылым Академиясы корреспондент мүшесі, т. ғ. д., профессор, Әзірбайжан Ұлттық Ғылым Академиясы «Мұнай және газ институты», «Қабат жүйелерінің гидрогазодинамикасы» зертханасының меңгерушісі (Баку қ., Әзірбайжан), dzhalalovgarib@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2801-8697>

Information about the authors:

Khadiyeva A.S., Ph.D Doctoral Student of the Department of Petrochemical Engineering of the Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yessenova (Aktau, Kazakhstan)

Dzhalalov G.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of the Institute of Oil and Gas, Hydrogasdynamics of Reservoir Systems of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan)

Сведения об авторах:

Хадиева А.С., Ph.D докторант кафедры «Нефтехимический инжиниринг» Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова (г. Ақтау, Казахстан)

Джалалов Г.И., д. т. н., профессор, заведующий лабораторией «Институт нефти и газа», «Гидрогазодинамика пластовых систем» Национальной Академии наук Азербайджана, член-корреспондент Национальной Академии Наук Азербайджана (г. Баку, Әзірбайжан)

2026

30 сентябрь –
2 октябрь

Қазақстан, Алматы



KIOGE
OIL&GAS KAZAKHSTAN

30
YEARS
OF
SUCCESS



Подробная информация:
www.kioge.kz



[oilgas.events.kz](https://www.instagram.com/oilgas.events.kz)

[oilgas.events.kz](https://www.facebook.com/oilgas.events.kz)



Код МРНТИ 52.47.27:52.47.19

*К.С. Заурбеков, С.А. Заурбеков, Р.К. Мукатов, И.С. Белан

Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation – Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАРОВАВИТАЦИОННОГО ДРЕНАЖА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАРАЖАНБАС

Аннотация. Статья посвящена оценке эффективности применения технологии парогравитационного дренажа (SAGD) на месторождении Каражанбас, которое характеризуется высокой вязкостью нефти, неоднородностью коллектора и сложным геологическим строением. В работе рассмотрены основные этапы внедрения технологии, включая бурение горизонтальных скважин, установку системы подачи пара и масштабирование процесса на более широкую площадь пласта. Приведены результаты моделирования, показывающие влияние термического воздействия пара на увеличение нефтеотдачи. Установлено, что применение SAGD значительно повышает коэффициент извлечения нефти на ранних стадиях разработки, однако на поздних этапах приводит к увеличению обводненности. В статье предложены направления оптимизации технологии с учетом особенностей месторождения Каражанбас.

Ключевые слова: SAGD, Каражанбас, высокая вязкость нефти, термическое воздействие, коэффициент извлечения нефти, обводненность, моделирование, пластовое давление, эффективность разработки.

Каражанбас кен орнында бу-гравитациялық дренаж технологиясын қолдану

Аннотация. Мақала Каражанбас кен орнында паро-гравитациялық дренаж (SAGD) технологиясын қолданудың тиімділігін бағалауға арналған. Бұл кен орны жоғары тұтқырлықтағы мұнаймен, коллектордың біртектілігімен және күрделі геологиялық құрылымымен сипатталады. Жұмыста технологияны енгізудің негізгі кезеңдері қарастырылған, соның ішінде көлденең ұңғымаларды бұрғылау, бу айдау жүйесін орнату және процесі қабаттың кең аумағына масштабтау. Модельдеу нәтижелері бу әсерінің мұнай қайтарымдылығын арттыруға ықпал ететінін көрсетеді. Зерттеу нәтижесінде SAGD технологиясы кен орнын игерудің бастапқы кезеңдерінде мұнай алу коэффициентін айтарлықтай арттыратыны, алайда кейінгі кезеңдерде қабаттың су басуын ұлғайтатыны анықталды. Мақалада Каражанбас кен орнының ерекшеліктерін ескере отырып, технологияны оңтайландыру бағыттары ұсынылған.

Түйінді сөздер: SAGD, Каражанбас, жоғары тұтқырлық, жылу әсері, мұнай алу коэффициенті, сулану, модельдеу, қабат қысымы, игеру тиімділігі.

Application of steam-assisted gravity drainage technology at the Karazhanbas field

Abstract. The article is devoted to evaluating the effectiveness of applying steam-assisted gravity drainage (SAGD) technology at the Karazhanbas field, which is characterized by high oil viscosity, heterogeneity of the reservoir, and complex geological structure. The study presents the main stages of implementation, including the drilling of horizontal wells, the installation of a steam injection system, and the scaling of operations. Results of reservoir simulation are discussed, showing the impact of thermal steam injection on oil recovery. It was found that SAGD significantly increases the oil recovery factor in the early stages of development, although it also contributes to higher water cut during later phases. The paper outlines recommendations for optimizing the SAGD process based on the specific geological and reservoir conditions of Karazhanbas.

Key words: SAGD, Karazhanbas, high viscosity oil, thermal effect, oil recovery factor, water cut, modeling, reservoir pressure, development efficiency.

Введение

Технология парогравитационного дренажа – способ добычи тяжелой нефти и битума, основанный на применении тепловой энергии пара для уменьшения вязкости нефти и использования силы тяжести для ее стекания в добывающие скважины. Впервые метод был предложен в 1970-х годах доктором Роджером Батлером, инженером компании Imperial Oil¹.

Месторождение Каражанбас в Мангистауской области Казахстана – один из крупнейших объектов по добыче высоковязкой нефти в регионе. Основные характеристики коллектора: минералогический состав представлен низкопроницаемыми песчаниками с высокой неоднородностью. Высокая вязкость нефти достигает нескольких тысяч мПа·с при пластовой температуре, что затрудняет традиционные методы добычи [1]. Состав нефти включает значительное количество парафинов, асфальтенов и смол, что способствует ее загустеванию при понижении температуры. Газонасыщенность – низкое содержание растворенного газа, что в итоге ограничивает возможности применения традиционного газлифтного метода [2].

Ранее на месторождении применялись традиционные методы механизированной добычи, которые включали штанговые глубинные насосы и электроцентробежные насосы, а также циклическое нагнетание пара. Однако эти методы имели ряд ограничений, включая снижение эффективности на поздних стадиях разработки².

Методы исследования

SAGD – это один из самых эффективных методов термической добычи тяжелой нефти. Принцип работы заключается в непрерывной закачке насыщенного пара через горизонтальные нагнетательные скважины, что снижает вязкость нефти и позволяет ей стекать в добывающую скважину под действием гравитации.

После прогрева пар непрерывно закачивается в верхнюю скважину, создавая расширяющуюся паровую камеру в пласте. Тепло от пара снижает вязкость нефти, позволяя ей под действием силы тяжести стекать вниз в нижнюю добывающую скважину, откуда она поднимается на поверхность. Для обеспечения эффективной работы системы важно поддерживать оптимальные параметры давления и температуры пара. Используются автоматизированные системы мониторинга температуры и потока жидкости, что позволяет оперативно реагировать на изменения в пласте и корректировать режимы работы. Верхняя скважина служит для подачи насыщенного пара, а нижняя для сбора разогретой нефти. Нефть под действием силы тяжести стекает вниз в нижнюю добывающую скважину, откуда она поднимается на поверхность. Постепенное снижение давления и температуры пара происходит по мере исчерпания запасов нефти в обрабатываемом участке. После завершения добычи инфраструктура может быть рекультивирована или использована повторно для разработки других участков. Эффективность разработки неоднородных пластов обусловлена

¹Все о нефти: сайт. 2023. URL: <https://vseonefti.ru/upstream/sagd.html> (дата обращения: 28.02.2025).

²KASE: сайт Казахстанской фондовой биржи. 2023. Финансовая отчетность АО «Каражанбасмұнай» за 9 месяцев 2023 года. URL: <https://kase.kz/files/emitters/KARM/karm9.pdf> (дата обращения: 03.03.2025).

равномерным распространением паровой камеры по породе, тем самым обеспечивая более полное извлечение нефти. Рост объемов добычи нефти достигается за счет повышения нефтеотдачи до 50–70% от первоначальных извлекаемых запасов. В долгосрочной перспективе, по сравнению с циклическим паровым воздействием, предлагаемая технология требует меньших энергетических затрат для поддержания давления.

Внедрение SAGD на Каражанбасе может стать большим шагом, который позволит увеличить объемы добычи, снизить затраты при эксплуатации и повысить рентабельность разработки месторождения [3]. SAGD заключается в бурении парных горизонтальных скважин. Верхняя скважина (нагнетательная) служит для подачи насыщенного пара в пласт. Нижняя скважина (добывающая скважина) расположена на 5–10 метров ниже и предназначена для сбора нефти, разжижающейся под воздействием пара, как показано на рис. 1.

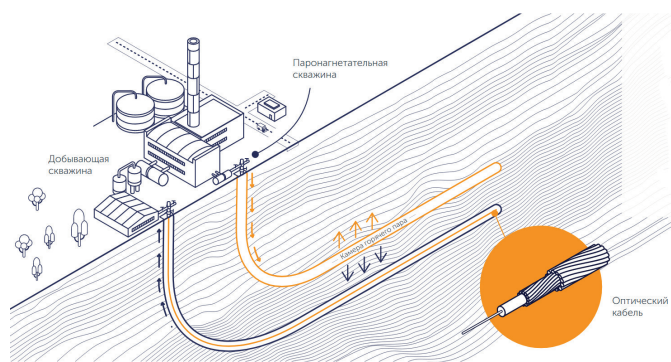


Рис. 1. Схема расположения скважин SAGD.
Сурет 1. SAGD ұңғымаларының орналасу схемасы.
Figure 1. SAGD well placement diagram.

Предварительный нагрев необходим для создания стабильной паровой камеры и эффективного дренажа нефти [4]. Заключительным этапом разработки месторождения является стадия декомпрессии – постепенное снижение пластового давления и переход системы в режим завершения эксплуатации [5]. После исчерпания запасов нефти процесс постепенно сворачивается, а инфраструктура подлежит рекультивации или может быть использована повторно³.

Базовые технологии и требования к энергии различаются в зависимости от местоположения и окружающей среды. Парогенератор производит насыщенный пар под высоким давлением. Горизонтальное бурение – это технология высокоточного наклонно-направленного бурения [6]. Системы термостойкого оборудования: жаропрочные трубы, насосы и датчики. Системы водоподготовки и очистки сточных вод предназначены для очистки и повторного использования воды при производстве пара. Автоматическая система мониторинга контролирует температуру, давле-

ние и расход пара [7]. Производство пара требует большого количества топлива. Среднее соотношение добываемого пара к нефти колеблется в пределах 2–5 баррелей пара на 1 баррель нефти. Высокая стоимость производства пара может быть компенсирована увеличением нефтеотдачи^{4,5}.

Результаты и обсуждения

Актуальность данного исследования заключается в необходимости оптимизации процессов термической обработки пластов, контроля параметров добычи и анализа динамики основных показателей разработки. Успешное внедрение и эксплуатация технологии SAGD требует комплексного подхода к анализу таких важных показателей, как общая добыча нефти (FOPT), пластовое давление (FPR), добыча нефти (FOPR) и содержание воды в продукте (FWCT). Целью данного исследования является проведение детального анализа динамики основных показателей технологического развития с использованием метода SAGD, выявление закономерностей изменения параметров производства и предложение рекомендаций по оптимизации процессов.

Результаты дадут более глубокое понимание процессов, происходящих в пласте при термообработке, и помогут оптимизировать работу системы для увеличения нефтеотдачи и снижения эксплуатационных затрат. Дальнейший анализ планов и параметров разработки позволит не только оценить текущую эффективность используемой технологии, но и выявить возможные пути ее улучшения, что особенно важно для дальнейшей успешной эксплуатации месторождения Каражанбас. Анализ проводился с использованием моделирования в программе FloViz, в ходе которого были получены данные по блочным схемам моделирования, распределению насыщенности нефтью, вязкости нефти и среднему изменению давления.

Мы представляем результаты моделирования распределения нефтяной насыщенности в пласте после воздействия парового дренажа по технологии Steam-Assisted Gravity Drainage. Цветовая шкала показывает диапазон насыщенности нефтью от 0.13286 (синий) до 0.21306 (красный). На изображении видно, что в верхней части пласта насыщенность нефтью выше, в то время как в нижних зонах она значительно снижена. Данное распределение насыщенности объясняется механизмом работы SAGD. В процессе термогравитационного дренажа пар подается в пласт через горизонтальную паронагнетательную скважину, создавая паровую камеру. Под действием высокой температуры нефть разогревается, ее вязкость снижается, и она начинает стекать вниз под воздействием силы тяжести, направляясь в добывающую скважину. В верхней зоне пласта процесс прогрева нефти находится в незавершенной стадии, вследствие чего существенная доля нефти остается в пластовых порах. Паровая камера еще не полностью заменила нефть, что объясняет более высокие значения насыщенности. В средней и нижней частях пласта

³INCAТом 18В Specialty: технол. портал. 2023. Стаття «Метод парогравитационного дренажа (SAGD)». URL: <https://incabspecialty.ru/techhub/metod-parogravitacionnogo-drenazha-sagd/> (дата обращения: 28.03.2025).

⁴Метод парогравитационного дренажа (SAGD) (адаптировано). URL: <http://blog.tran.su/shkola/goods/sagd/> (дата обращения: 28.03.2025).

⁵Журнал «Нефтегазовая промышленность»: электрон. журн. 2022. Мақала «Қатты мұнайларды өндіруде SAGD технологиясының тиімділігі». URL: <https://www.ngp-ru.com/sagd-tech> (дата обращения: 28.03.2025).

Таблица 1

Эффективность технологии SAGD по сравнению с другими методами

Кесте 1

SAGD технологиясының басқа әдістермен салыстырмалы тиімділігі

Table 1

Efficiency of SAGD technology compared to other methods

Метод	Принцип работы	Коэффициент извлечения нефти (КИН)	Затраты	Преимущества	Недостатки
Механизированная добыча (ШГН, ЭЦН)	Использование насосного оборудования для извлечения нефти	10–20%	Низкие капитальные, высокие операционные	Простота эксплуатации	Низкая эффективность для высоковязких нефтей
Циклическое паровое воздействие (CSS, «пар-замачивание»)	Закачка пара и последующий отбор нефти из одной скважины	20–30%	Средние	Быстрый рост добычи в начальной фазе	Снижение эффективности со временем
SAGD	Непрерывная подача пара и гравитационный дренаж нефти	50–70%	Высокие капитальные, средние операционные	Высокая добыча, стабильность процесса	Высокая зависимость от цен на газ и воду

нефть была активно вытеснена в добывающую скважину, что привело к снижению ее насыщенности. В этой области происходит максимальное стекание разогретой нефти, а значительную часть порового пространства заполняет горячая вода, оставшаяся после конденсации пара, как показано на рис. 2.

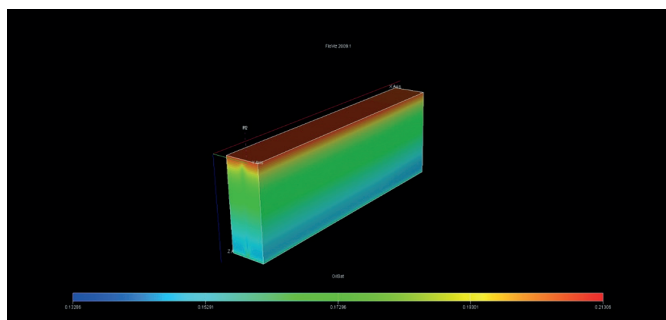


Рис. 2. Распределение насыщенности нефтью в пласте.

Сурет 2. Қабаттағы мұнаймен қанығу таралуы.
Figure 2. Distribution of oil saturation in the reservoir.

Также моделирование показывает результаты распределения пластового давления (PSIA) в резервуаре, подвергнутом воздействию термогравитационного дренажа. Цветовая шкала демонстрирует, что давление изменяется от 477.61 PSIA (синий) до 685.76 PSIA (красный). На изображении видно, что более высокие значения давления сосредоточены в верхней части пласта, тогда как в нижних слоях наблюдается его снижение. Внутри камеры давление повышается, что способствует прогреву нефти и снижению ее вязкости. Под воздействием гравитации нагретая нефть стекает вниз в зону добывающей скважины,

где давление остается более низким из-за непрерывного оттока жидкости, как показано на рис. 3.

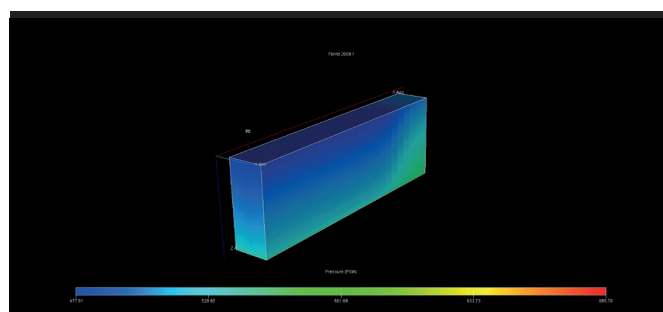


Рис. 3. Распределение пластового давления в резервуаре.

Сурет 3. Қабаттағы қысымның резервуар бойынша таралуы.
Figure 3. Distribution of reservoir pressure in the formation.

Также мы представляем визуализацию распределения вязкости нефти в пласте, полученную в результате численного моделирования процесса SAGD. Цветовая шкала показывает диапазон вязкости от 168.49 сР (синий) до 401.38 сР (красный). Видно, что в верхней части пласта вязкость нефти остается высокой (красные области). В нижних слоях она значительно снижена (синие области). В результате нефть остается более вязкой и сохраняет высокие значения вязкости (красный цвет). Средняя и нижняя части – здесь нефть уже подверглась интенсивному нагреву паром. В этих зонах преобладает жидкая нефть с минимальной вязкостью (синий цвет), что подтверждает успешную работу SAGD, как показано на рис. 4.

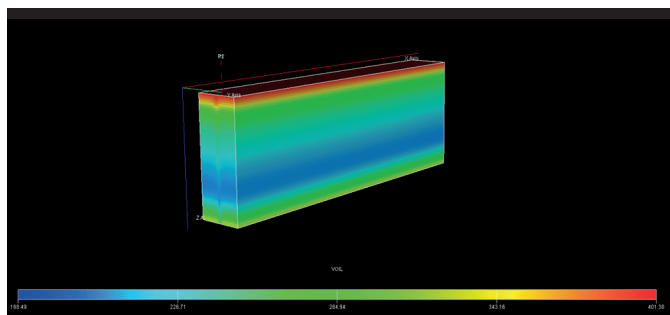


Рис. 4. Распределение вязкости нефти в пласте.
Сурет 4. Қабаттағы мұнай тұтқырлығының таралуы.
Figure 4. Distribution of oil viscosity in the reservoir.

Обсуждение результатов

Анализ динамики потока и совокупной доходности результатов моделирования SAGD в ECLIPSE. FOPT и TIME – совокупная добыча нефти за определенный период, FOPR и TIME – добыча нефти за определенный период. Эти графики позволяют оценить эффективность разработки месторождения, определить критические этапы работ и спрогнозировать поведение месторождения на долгосрочную перспективу. Значение графика совокупной добычи нефти показывает общий объем нефти, добытой за определенный период времени. Обычно кривая имеет S-образную форму, отражающую разные стадии развития. Начальная фаза этой фазы добычи очень короткая, поскольку пар нагревает пласт и подготавливает его к эффективному дренированию. Модель ECLIPSE показывает, что за 15 лет работы совокупная добыча достигла 37 миллионов баррелей нефти, что является высоким показателем для разработки месторождений тяжелой нефти.

Однако если принять во внимание реальный срок эксплуатации скважин, составляющий в среднем 7 лет, то за этот период было добыто 19 миллионов баррелей нефти. Это демонстрирует эффективность разработки SAGD, поскольку более 50% прогнозных запасов могут быть отработаны менее чем в два раза быстрее. График добычи показывает, что максимальная продуктивность достигается в первые 1000 дней, после чего добыча начинает постепенно снижаться. Это означает, что в реальных условиях высокая совокупная добыча может быть достигнута в течение 7 лет, но параметры впрыска пара необходимо будет скорректировать для поддержания эффективности процесса. Снижение расходов и уменьшение FOPR могут быть вызваны истощением дренажных резервов, ухудшением теплового режима или скоплением воды в производственной зоне. Снижение FOPR может указывать на необходимость дополнительной закачки пара, изменения давления или оптимизации скважины, как показано на рис. 5.

Анализ расхода воды и содержания влаги проводился на основе результатов моделирования совокупного производства воды SAGD FVPT и TIME, содержания влаги в продукте FWCT и TIME. На начальном этапе (0–1000 дней) водопродукция очень мала, что является характерной особенностью ПГД на стадии нагрева. По мере распространения паровой камеры и увеличения теплового охвата начинается поступление конденсата пара, что отражается на

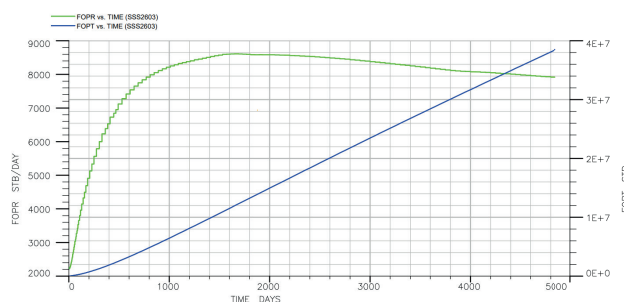


Рис. 5. Динамика совокупной и текущей добычи нефти (FOPT, FOPR).
Сурет 5. Жалпы және ағымдағы мұнай өндірудің динамикасы (FOPT, FOPR).
Figure 5. Dynamics of cumulative and current oil production (FOPT, FOPR).

росте. После 2500–3000 дней (примерно 7–8 лет) добыча воды ускоряется, что может свидетельствовать о частичном прорыве пара в добывающие скважины или увеличении доли термоконденсата. Динамика обводненности в первые годы эксплуатации (0–1500 дней) – обводненность остается низкой, что говорит о преимущественно нефтяной добыче. В дальнейшем (~2000–3000 дней) доля воды начинает увеличиваться, что связано с ростом количества конденсата пара. На поздних стадиях (более 7 лет) FWCT показывает тенденцию к дальнейшему росту, что может свидетельствовать о снижении эффективности дренажа нефти и увеличении водоносного фактора, как показано на рис. 6.

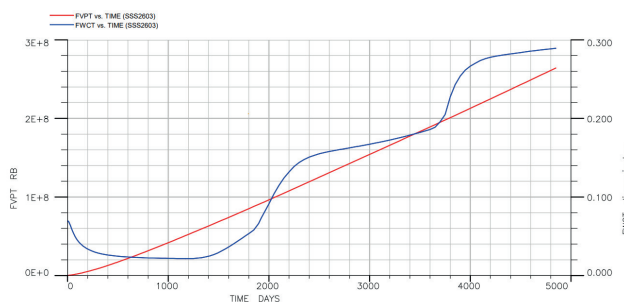


Рис. 6. Динамика водоотдачи и обводненности (FVPT, FWCT).
Сурет 6. Судың алынуы мен суланудың динамикасы (FVPT, FWCT).
Figure 6. Dynamics of water production and water cut (FVPT, FWCT).

Анализ графика давления (FPR vs. TIME). В начале процесса давление в пласте может быть относительно высоким и стабильным. Если начальное давление низкое, это может указывать на уже частично разгазированный пласт или наличие исторического дренирования.

Как только система достигнет стабильной работы, давление может стабилизироваться или слегка упасть по мере стекания жидкости в скважину. Если давление резко падает, это может указывать на недостаток пара или высокую

скорость экстракции. На более позднем этапе разработки давление может упасть, особенно если производство воды и пара неэффективно. Значительное падение давления свидетельствует об истощении паровой камеры, как показано на рис. 7.

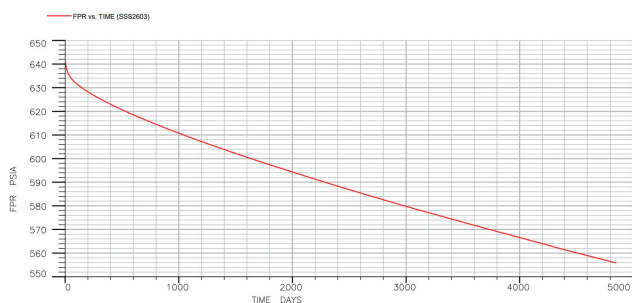


Рис. 7. Изменение пластового давления во времени (FPR).

Сурет 7. Қабат қысымының уақыт бойынша өзгерісі (FPR).

Figure 7. Reservoir pressure variation over time (FPR).

FWPR (дебит добычи воды) в зависимости от времени и FWPT (общая добыча воды на месторождении) полезны при анализе динамики притока воды во время SAGD. Поскольку добыча жидкости все еще мала, начальная фаза графика FWPT начинает расти, хотя и медленно. Наклон графика увеличивается во время фазы активного роста, как только добыча выравнивается. На значительный приток воды указывает высокая скорость роста. График начинает выравниваться на этапе замедления роста, когда приток воды падает. Это положительный признак того, что система теперь работает стабильно. Стабилизация или необычное поведение: на прорыв воды и снижение эффективности SAGD может указывать резкий подъем графика вверх. Обводненность системы снижается, если рост замедляется, и большая часть добываемой жидкости – это нефть, как показано на рис. 8.

Заклучение

1. Моделирование в ECLIPSE позволило увидеть, как данный метод будет реализован на месторождении

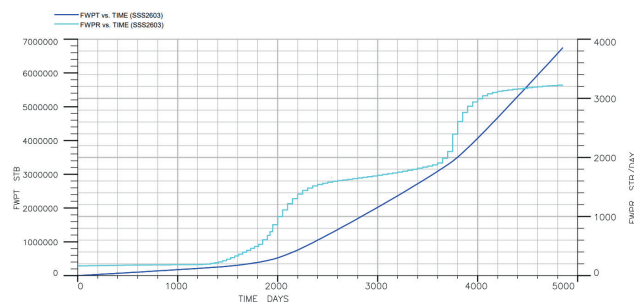


Рис. 8. Динамика общего и мгновенного дебита воды (FWPT, FWPR).

Сурет 8. Жалпы және сәттік су дебитінің динамикасы (FWPT, FWPR).

Figure 8. Dynamics of cumulative and instantaneous water production rate (FWPT, FWPR).

Қаражанбас, определить показатели, которые необходимы для вычислений его рентабельности, и экономические показатели.

2. Методом проб ошибок были подобраны оптимальные значение скважин, которые минимизировали бы ущерб с экономической точки зрения.

3. В моделировании и полученных данных мы увидели деятельность пара гравитационного метода в исполнении и его эффективность в дебите, общие объемы добытого флюида.

Исходя из вышеперечисленного, учитывая полученные данные по моделированию, мы имеем данные о дебите, давлении и общих показателях скважины, мы видим эффективность и актуальность применения метода на месторождении Каражанбас, так как оно является одним из основных месторождений Прикаспийской низменности и не утрачивает своей важности.

Благодарность

Данное исследование финансировалось/финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992868).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Применение метода парогравитационного дренажа (PGD) на месторождениях высоковязкой нефти / Шикунан Сауами Г.А. [и др.] // Вестник Евразийской Науки. 2021. Т. 13. № 3. С. 1–12 (на русском языке)
2. Мурзагалиев Р.С. Особенности геологического строения и разработки нефтяного месторождения Каражанбас // Геология нефти и газа. 2003. № 2. С. 27–30 (на русском языке)
3. Адаптация технологии SAGD для условий месторождений Казахстана / Заурбеков К.С. [и др.] // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. 2021. Т. 18. № 4. С. 59 (на русском языке)
4. Обоснование применения технологии дифференцированного парогравитационного дренажа (SAGD) в условиях месторождений Западной Сибири / Дуркин С.М. [и др.] // Архив докладов и тезисов. 2017. № 21. С. 121–164 (на русском языке)
5. Nabilou A. Исследование параметров метода парогравитационного дренажа (SAGD) для повышения нефтеотдачи в карбонатных коллекторах с трещинами тяжелой нефти // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 9 (3). С. 647–658 (на английском языке)

6. Wang Z., Han B., Zou Z. Влияние неоднородности на запуск SAGD и оптимизацию циркуляции пара для глубокого массивного пласта. Тематическое исследование // Конференция и выставка SPE по характеристике и моделированию коллектора, OnePetro: Абу-Даби, ОАЭ, 2017 (на английском языке)
7. Cui G., Liu T., Xie J., Rong G., Yang L.A. (2022). Обзор развития технологии SAGD и потенциал ее возможного применения на тонкослойных залежах сверхтяжелой нефти. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987122000354?via%3Dihub> (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тұтқырлығы жоғары мұнай кен орындарында бу гравитациялық дренаж (PGD) әдісін қолдану / Шикуюана Сауами Г.А. [және т. б.] // Еуразия ғылымының хабаршысы. 2021. Т. 13. № 3. Б. 1–12 (орыс тілінде)
2. Мырзағалиев Р.С. Қаражанбас мұнай кен орнының геологиялық құрылымы мен игерілу ерекшеліктері // Мұнай және газ геологиясы. 2003. № 2. Б. 27–30 (орыс тілінде)
3. Sagd технологиясын Қазақстан кен орындарының жағдайына бейімдеу / Заурбеков К.С. [және т. б.] // Қазақстан-Британ техникалық университетінің хабаршысы. 2021. Т. 18. № 4. Б. 59 (орыс тілінде)
4. Батыс Сібір кен орындары жағдайында сараланған бу-гравитациялық дренаж (SAGD) технологиясын қолдану негіздемесі / Дуркин С.М. [және т. б.] // Баяндамалар мен тезистер мұрағаты. 2017. № 21. Б. 121–164 (орыс тілінде)
5. Nabilou A. Ауыр мұнай жарықтары бар карбонатты коллекторлардағы мұнай шығынын арттыру үшін бу-гравитациялық дренаж әдісінің (SAGD) параметрлерін зерттеу // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 9 (3). Б. 647–658 (ағылшын тілінде)
6. Wang Z., Han B., Zou Z. SAGD іске қосылуына және терең массивті қабат үшін бу айналымын оңтайландыруға гетерогенділіктің әсері: кейс-стади // SPE резервуарларын сипаттау және модельдеу конференциясы мен көрмесі, OnePetro: Абу-Даби, БАӘ, 2017 ж. (ағылшын тілінде)
7. Cui G., Liu T., Xie J., Rong G., Yang L. (2022). SAGD технологиясының дамуы және оның жұқа қабатты аса ауыр мұнай кен орындарында қолданылу әлеуетіне шолу. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987122000354?via%3Dihub> (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Primeneniye metoda parogravitatsionnogo drenazha (PGD) na mestorozhdeniyakh vysokovязкой нефти [Application of the method of vapor gravity drainage (PGD) in high-viscosity oil fields], Shikuana Sauami G.A. [et al.], Vestnik Evraziyskoy Nauki [Bulletin of Eurasian Science]. 2021. V. 13. No. 3. 1–12 pp. (in Russian)
2. Murzagaliev R.S. Osobennosti geologicheskogo stroeniya i razrabotki nefryanogo mestorozhdeniya Karazhanbas [Peculiarities of geologic structure and development of Karazhanbas oil field], Geologiya nefi i gaza [Geology of oil and gas]. 2003. No. 2. 27–30 pp. (in Russian)
3. Adaptatsiya tekhnologii SAGD dlya usloviy mestorozhdeniy Kazakhstana, [Adaptation of SAGD technology for conditions of Kazakhstan oilfields], Zaurbekov K.S. [et al.], Vestnik Kazakhstansko-Britanskogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Kazakhstan-British Technical University]. 2021. V. 18. No. 4. 59 p. (in Russian)
4. Obosnovaniye primeneniya tekhnologii differentsirovannogo parogravitatsionnogo drenazha (SAGD) v usloviyakh mestorozhdeniy Zapadnoy Sibiri [Justification of differentiated steam-gravity drainage (SAGD) technology application in conditions of Western Siberian fields], Durkin S.M. [et al.], Arkhiv dokladov i tezisov [Archive of reports and theses]. 2017. No. 21. 121–164 pp. (in Russian)
5. Nabilou A. Investigation of parameters of steam-assisted gravity drainage (SAGD) method for enhanced oil recovery in carbonate reservoirs with heavy oil fractures // American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. No. 9 (3). 647–658 pp. (in English)
6. Wang Z., Han B., Zou Z. Effect of heterogeneity on SAGD triggering and steam circulation optimization for deep massive reservoir: A case study // SPE Reservoir Characterization and Simulation Conference and Exhibition, OnePetro: Abu Dhabi, UAE, 2017 (in English)
7. Cui G., Liu T., Xie J., Rong G., Yang L. (2022) A review of SAGD technology development and its possible application potential on thin-layer super-heavy oil reservoirs <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987122000354?via%3Dihub> (in English)

Сведения об авторах:

Заурбеков К.С., доктор философии Ph.D, асоц. профессор кафедры «Нефтяная инженерия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), kadmen.95@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7425-7448>

Заурбеков С.А., к. т. н., профессор кафедры «Нефтяная инженерия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), s.zaurbekov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8025-0824>

Мукатов Р.К., бакалавр 4-го курса кафедры «Нефтяная инженерия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), rahadjan2002@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-4122-9931>

Белан И.С., бакалавр 4-го курса кафедры «Нефтяная инженерия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), ivanbelan6@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-7902-9363>

Авторлар туралы мәліметтер:

Заурбеков Қ.С., Ph.D докторы, қауымдастырылған профессор, «Мұнай инженериясы» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Заурбеков С.А., т. ғ. к., Satbayev University профессоры «Мұнай инженериясы» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Мұқатов Р.К., Сәтбаев университетінің «Мұнай инженериясы» кафедрасының 4 курс ғылым бакалавры (Алматы қ., Қазақстан)

Белан И.С., Сәтбаев Университеті «Мұнай инженериясы» кафедрасының 4 курс ғылым бакалавры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Zaurbekov K.S., Ph.D, associate professor, Department of Petroleum Engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Zaurbekov S.A., Candidate of Technical Sciences, Professor of Satbayev University, Department of Petroleum Engineering (Almaty, Kazakhstan)

Mukatov R.K., 4th year bachelor of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Belan I.S., 4th year bachelor of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)



ВЫСТАВКА «ГАЗ. НЕФТЬ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КРАЙНЕМУ СЕВЕРУ»

в рамках
ЯМАЛЬСКОГО
НЕФТЕГАЗОВОГО
ФОРУМА

СИБЭКСПО SERVICE

ООО «Выставочная компания Сибэкспосервис», г. Новосибирск

Тел.: +7 (383) 335-63-50, e-mail: vkases@yandex.ru, www.ses.net.ru

18-19 МАРТА

г. Новый Уренгой
2026



Код МРНТИ 87.21.07

*Д.К. Сунакбаева¹, Д.Х. Юлдашбек¹, К.У. Айтекова²

¹Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави
(г. Туркестан, Казахстан),

²Международный Таразский университет им. Шерхана Муртазы
(г. Тараз, Казахстан)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН УРАНГАЙСКОГО И ИБАТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Аннотация. Бентонитовые глины являются перспективными природными сорбентами для решения экологических задач, таких как детоксикация почв от тяжелых металлов и очистка сточных вод. В работе представлены результаты изучения бентонитов Урангайского и Ибатинского месторождений Туркестанской области Казахстана. Определены химический и минералогический состав, гранулометрические характеристики, сорбционные свойства и влияние химической активации. Глины обладают высокой сорбционной способностью (удельная поверхность 78–180 м²/г, катионообменная емкость 63–100 мг-экв/100 г). В опытах с модельной системой почва-кукуруза смеси бентонита с гуминовой кислотой и агроотходами снижали содержание тяжелых металлов в урожае до нормативных уровней. Полученные данные обосновывают применение местных минеральных ресурсов для охраны окружающей среды в маловодных регионах.

Ключевые слова: бентонитовая глина, сорбент, монтмориллонит, тяжелые металлы, детоксикация почв, химическая активация.

Ораңғай және Ибата кен орындарының бентонит саздарының физика-химиялық сипаттамалары және олардың экологиялық технологияларда қолданылуы

Андатпа. Бентонит саздары ауыр металдармен ластанған топырақты детоксикациялау мен ағын суларды тазартуда тиімді табиғи сорбент болып табылады. Бұл жұмыста Түркістан облысындағы Ораңғай және Ибата кен орындарының бентониттері кешенді зерттелді. Олардың химиялық және минералдық құрамы, гранулометриялық сипаттамалары, сорбциялық қасиеттері және химиялық активтендірудің әсері анықталды. Саздардың сорбциялық қабілеті жоғары (меншікті беті 78–180 м²/г, катионалмасу сыйымдылығы 63–100 мг-экв/100 г). Топырақ-жүгері жүйесінде жүргізілген тәжірибелерде бентонит, гумин қышқылы және ауыл шаруашылығы қалдықтары қосылған қоспалар ауыр металдардың өнімдегі мөлшерін нормативтік деңгейге дейін төмендетті. Нәтижелер жергілікті минералдарды су ташылығы бар өңірлердің экологиялық ахуалын жақсартуға тиімді пайдалануға болатынын көрсетеді.

Түйінді сөздер: бентонит сазы, сорбент, монтмориллонит, ауыр металдар, топырақ детоксикациясы, химиялық активтендіру.

Physico-chemical characteristics of bentonite clays from the Urangai and Ibata deposits and their application in environmental technologies

Abstract. Bentonite clays are promising natural sorbents for addressing environmental challenges such as soil detoxification from heavy metals and wastewater treatment. This study presents the results of investigating bentonites from the Urangai and Ibata deposits in the Turkestan region of Kazakhstan. The chemical and mineralogical composition, granulometric characteristics, sorption properties, and the effect of chemical activation were determined. The clays exhibit high sorption capacity (specific surface area of 78–180 m²/g, cation exchange capacity of 63–100 mg-eq/100 g). In experiments using a model soil-corn system, mixtures of bentonite with humic acid and agricultural waste reduced the heavy metal content in the crop to regulatory levels. The results justify the use of local mineral resources for environmental protection in water-scarce regions.

Key words: bentonite clay, sorbent, montmorillonite, heavy metals, soil detoxification, chemical activation.

Введение

На современном этапе антропогенного развития обостряются проблемы, связанные с нарушением биогеохимического равновесия почвенно-экологических систем. Интенсивное природопользование, урбанизация, промышленная деятельность, нерациональное применение минеральных удобрений и пестицидов приводят к деградации почвенного покрова, исчерпанию его ресурсного потенциала, нарушению структуры и снижению буферной способности. Одним из наиболее опасных и трудноустраняемых видов загрязнения является техногенное накопление тяжелых металлов (ТМ) в верхнем слое почвы. Эти элементы не разлагаются в природных условиях, демонстрируют высокую подвижность и биодоступность, накапливаются в растениях, водоемах и трофических цепях, что создает серьезные риски для экосистем и здоровья человека [1].

Особую опасность представляет собой наличие тяжелых металлов в зоне корнеобитаемого слоя, где они могут включаться в метаболические процессы растений и микробных сообществ, изменять кислотно-щелочной баланс, ингибировать ферментативную активность и блокировать механизмы минерализации органического вещества. В условиях засушливых регионов, таких как Туркестанская об-

ласть Республики Казахстан, почвы особенно уязвимы к техногенному воздействию ввиду ограниченной водообеспеченности, слабой промывной способности, повышенной солевой нагрузки и малой буферности. Это обостряет необходимость разработки эффективных природосберегающих решений по восстановлению химического баланса и минимизации миграции токсикантов в системе почва-вода-растение [2–3].

Среди доступных и экологически безопасных средств для детоксикации загрязненных почв все большую популярность приобретают природные алюмосиликатные сорбенты. Одним из наиболее эффективных представителей данной группы являются бентонитовые глины, основным минералогическим компонентом которых является монтмориллонит – представитель группы смектитов. Структурно монтмориллонит относится к типу слоистых силикатов с формулой 2:1, где два слоя кремнезема окружают один слой алюмооксидной октаэдрической решетки. Такая структура обуславливает высокую удельную поверхность (до 800 м²/г), способность к межслоевому ионному обмену, набуханию, удержанию воды и поливалентных ионов [4–5].

Ключевым преимуществом монтмориллонита является его высокая катионообменная емкость (ЕКО), позво-

ляющая фиксировать значительные количества тяжелых металлов, препятствуя их дальнейшей миграции и включению в биологический круговорот. Кроме того, благодаря своей структурной пластичности и способности к модификации (кислотной, щелочной, органической), бентонитовые глины могут адаптироваться под конкретные условия загрязненной среды, усиливая селективность к определенным типам поллютантов. В международной практике природные и модифицированные смектиты находят широкое применение в технологиях ремедиации, водоподготовки, создания барьерных экранов, биоценологической стабилизации и улучшения структурно-функциональных характеристик почв [6–7].

На территории Туркестанской области имеются природные месторождения бентонитовых глин, обладающие значительным потенциалом для экологических и инженерных применений. Урангайское месторождение, выявленное и разведанное в 1972 году, содержит запасы порядка 6,8 млн м³ и расположено всего в 12 км от города Туркестан и 18 км от города Кентау, в предгорьях хребта Каратау. Второе – Ибатинское месторождение характеризуется схожими геолого-минералогическими условиями и выгодным географическим положением вблизи транспортной инфраструктуры, что упрощает возможную эксплуатацию и логистику. Несмотря на доступность и геолого-экономические преимущества, указанные месторождения остаются слабо исследованными в контексте их прикладного применения в качестве природных сорбентов для связывания тяжелых металлов в почвенной среде [8].

На сегодняшний день отсутствует комплексная информация о минералогическом составе, морфологии, текстурных и сорбционных характеристиках глин из этих месторождений. Недостаточно изучены такие важные параметры, как гранулометрический состав, специфическая поверхность, пористость, распределение кислотно-основных центров, устойчивость к химическим воздействиям, а также поведение при взаимодействии с поллютантами различной природы. Также требует оценки влияние химической модификации (например, активации кислотами, солями или органическими агентами) на изменение их сорбционной активности и устойчивости в условиях, имитирующих реальные почвенные системы [9].

Таким образом, цель настоящего исследования заключается в проведении комплексной физико-химической характеристики бентонитовых глин Урангайского и Ибатинского месторождений, а также в научной оценке их потенциала в качестве природных сорбентов для фиксации тяжелых металлов в загрязненных почвах. Это включает не только изучение исходных свойств глин, но и моделирование их поведения в условиях, приближенных к реальным экологическим ситуациям, с целью последующего применения в стратегиях восстановления и устойчивого управления почвенными ресурсами в засушливых регионах Казахстана.

Материалы и методы

Исследования проведены на пробах бентонитовых глин Урангайского (УГ) и Ибатинского (ИГ) месторождений. Химический состав определен методом гравиметрическо-

го анализа. Гранулометрический состав – методом седиментации по П.А. Зенкову. Физические свойства (объемный вес, удельный вес, пористость) измерены по ГОСТ 26423-85. Удельная поверхность (S) и сорбционный объем (V_s) рассчитаны методом БЭТ (Брунауэра-Эммета-Теллера) по адсорбции азота. Емкость катионного обмена (ЕКО) – методом выщелачивания аммоний-ацетатом.

Химическая активация УГ выполнена обработкой 5–30% растворами H_2SO_4 в течение 24 ч. с последующей промывкой и сушкой. Минералогический анализ – рентгеноструктурным методом (РСА) и оптическим методом в шлифах.

Для моделирования фиксации ТМ использованы сероземы, загрязненные солями **Cu**, **Zn**, **Pb** (1–100 ПДК). Эффективность сорбентов оценивалась по снижению рН, гН₂ и содержания ТМ в почве и кукурузе после внесения смесей бентонита с гуминовой кислотой (ГК), отходами риса и пшеницы (дозы: 5–10% от массы почвы). Анализ ТМ – инверсионной вольтамперометрией [10–11]. Статистическая обработка – методом дисперсионного анализа ($n = 5$, $P < 0,05$).

Результаты

Химический и минералогический состав

Урангайская глина (УГ). По данным химического анализа, основной компонент глины – диоксид кремния (SiO_2), составляющий 55,72%, что подтверждает преобладание кремнеземистой матрицы. Суммарное содержание глинозема ($Al_2O_3 + TiO_2$) составляет 13,60%, оксидов железа ($Fe_2O_3 + FeO$) – 5,29%, а также присутствуют щелочноземельные (CaO – 2,94%, MgO – 2,43%) и щелочные оксиды ($K_2O + Na_2O$ – 3,65%). Содержание серных соединений варьируется в диапазоне 0,98–3,05% (SO_4^{2-}). Наличие гумуса (1,54%) указывает на частичное органическое обогащение, а потери при прокаливании (ППП) – 8,91% на наличие летучих и связанной воды.

Физико-химические характеристики. Объемная насыпная масса составляет 594 кг/м³, водопоглощение за 1 час – 11%, что подтверждает гидрофильность материала.

Ибатинская глина (ИГ). Минералогический состав определяется преобладанием диоктаэдрического монтмориллонита (65–87%), обуславливающего высокую сорбционную активность. Емкость катионного обмена (ЕКО) достигает 70 мг-экв/100 г, где доминируют катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} .

По данным рентгеновской спектральной аналитики (РСА), выявлены следующие сопутствующие фазы: йодерит – 16%, клинтонит-1М – 29%, могоанит – 55% (в пересчете на SiO_2).

Минералогия УГ. Основу составляют монтмориллонит (65–75%) и гидрослюды, с примесями мусковита, биотита и каолинита (в совокупности < 5%). Установлена типичная структура 2:1 (диоктаэдрическая) с расширяющимся межслоевым пространством, активным при гидратации.

Гранулометрический и физические свойства

Гранулометрический анализ УГ показал высокий процент мелкодисперсных частиц. Распределение по фракциям (% от сухой массы):

- 0,5–0,05 мм – 10,7%;
- 0,05–0,01 мм – 15,2%;

- 0,01–0,005 мм – 12,3%;
- 0,005–0,001 мм – 34,0%;
- < 0,001 мм – 27,8%.

Общее содержание глинистой фракции (< 0,005 мм) составляет 61,8%, а коллоидной (< 0,2–0,3 мкм) – до 85%, что указывает на высокий потенциал к сорбции. Набухание глины в воде достигает 12–17 крат, что типично для монтмориллонитовых систем.

Физические свойства УГ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физические свойства бентонитовой глины Урангайского месторождения

Кесте 1

Ораңгай кен орны бентонит сазының физикалық қасиеттері

Table 1

Physical properties of bentonite clay from the Urangai deposit

Объемная плотность, г/см ³	Удельная плотность, г/см ³		Пористость	
	истинный	кажущийся	%	см ³ /г
1,180	2,5921	1,350	46	0,321
1,176	2,6013	1,350	47	0,300
1,159	2,6442	1,491	45	0,295
1,120	2,7029	1,522	43	0,280
1,180	2,6167	1,509	44	0,315

Данные указывают на высокую пористость (43–47%), плотную структуру с истинным удельным весом ~2,6 г/см³ и значительное содержание пор, особенно микропор, влияющих на удельную сорбционную емкость.

Сорбционные свойства

Удельная поверхность УГ варьируется от 69 до 132 м²/г, в среднем 125 м²/г, что подтверждает значительную активную поверхность (таблица 2). Предельный сорбционный объем (V_s) находится в пределах 0,16–0,25 см³/г.

Таблица 2

Удельная поверхность (S) и предельный сорбционный объем (V_s) Урангайской бентонитовой глины

Кесте 2

Ораңгай бентонит сазының меншікті беті (S) және шекті сорбциялық көлемі (V_s)

Table 2

Specific surface area (S) and maximum sorption volume (V_s) of Urangai bentonite clay

S, м ² /г	V _s , см ³ /г	Обменный комплекс, мг-экв/100 г глины			
		Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	ЕКО
78	0,17	48	33	9	80
120	0,22	50	41	8	100
69	0,16	32	25	6	63
132	0,25	54	33	6	93
130	0,25	39	32	7	78

В обменном комплексе преобладают катионы Na⁺, Ca²⁺ и Mg²⁺. Суммарная катионообменная емкость (ЕКО) составляет 63–100 мг-экв/100 г, что делает глину эффективной при фиксации ТМ. Водородный показатель (рН) водной суспензии – 7,5–7,7, в солевом растворе – 6,8–7,0, что указывает на нейтральную реакцию среды.

Состав водной вытяжки приведен в таблице 3.

Таблица 3

Состав водной вытяжки Урангайского бентонита, %

Кесте 3

Ораңгай бентонитінің сулы сығындысының құрамы, %

Table 3

Composition of the aqueous extract of Urangai bentonite, %

Сухой остаток	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
5,280	0,120	2,090	0,482	0,148	0,020	2,982
5,101	0,115	2,120	0,490	0,130	0,038	3,108
5,238	0,094	2,156	0,478	0,140	0,030	1,980
4,998	0,102	2,108	0,485	0,150	0,041	2,795
5,644	0,089	2,110	0,500	0,162	0,022	3,020

Основные анионы – Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, а катионы – Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. Высокое содержание солей (сухой остаток ~5%) указывает на наличие водорастворимых ионов, которые могут участвовать в ионном обмене.

Влияние химической активации

При обработке УГ серной кислотой (H₂SO₄) наблюдается рост содержания SiO₂ до 66,3% и снижение количества полуторных оксидов до 10,2%, что свидетельствует о частичном разрушении алюмосиликатной решетки. Это приводит к увеличению микропористости и развитию сорбционной поверхности.

Структурные изменения приведены в таблице 4.

При увеличении концентрации H₂SO₄ (до 30%) общая пористость возрастает до 69,4%, а сорбционный объем по воде – почти в 2 раза (с 0,16 до 0,33 см³/г), по бензолу – более чем в 4 раза (до 0,62 см³/г). Это подтверждает значительное увеличение микропористости, особенно в гидрофобной фазе.

Фиксация тяжелых металлов в почвах

Изменение рН серозема под действием различных соединений меди, цинка и свинца приведено в таблице 5.

Сульфатные и хлоридные формы меди и цинка при дозах ≥ 50 ПДК резко понижают рН (до 4,3–5,1), что увеличивает подвижность ТМ. Оксидные формы оказывают меньшее влияние на рН, оставаясь в нейтральной зоне.

Содержание ТМ в растениях и почве после применения сорбентов приведено в таблице 6.

Добавление бентонита в смеси с гуминовыми кислотами (ГК) и агропромышленными отходами (рисовая/пшеничная солома) позволяет существенно снизить содержание Pb, Cu и Zn в растительной массе кукурузы. Например, при загрязнении Pb (500 мг/кг), содержание его в растении падает с 80,3 мг/кг до 0,3–1,2 мг/кг, а в почве – до < 0,01 мг/кг. Это свидетельствует о высокой эффективности фиксирующих свойств бентонита.

Таблица 4

Структурно-сорбционные свойства Урангайского бентонита после активации H_2SO_4 (24 ч)

Кесте 4

Ораңгай бентонитінің H_2SO_4 -пен активтендірілгеннен кейінгі құрылымдық-сорбциялық қасиеттері (24 сағат)

Table 4

Structural and sorption properties of Urangai bentonite after H_2SO_4 activation (24 h)

Концентрация кислоты, %	Насыпная плотность порошка, г/см ³	Удельный вес, г/см ³		Общая пористость (P), %	Суммарный объем пор (V _Σ) см ³ /г	Статическая активность (V _s), см ³ /г	
		истинный (d)	кажущийся (δ)			по воде	по бензолу
-	1,180	2,644	1,521	45,5	0,30	0,16	0,14
5	0,845	2,622	1,483	46,0	0,37	0,44	0,24
10,0	0,762	2,596	1,33	55,2	0,48	0,34	0,32
20,0	0,654	2,358	1,04	63,7	0,80	0,31	0,36
25,0	0,631	2,255	0,88	67,5	0,93	0,33	0,45
30,0	0,627	2,104	0,77	69,4	0,98	0,28	0,62

Таблица 5

Изменение pH серозема при внесении соединений тяжелых металлов (1-100 ПДК)

Кесте 5

Ауыр металдар қосылыстары (1-100 ШРК) енгізілген кезде сұр топырақтың pH деңгейінің өзгерісі

Table 5

Change in pH of sierozem under the application of heavy metal compounds (1-100 MAL)

Количество внесенных ТМ	pH почвенного раствора (числитель) и rH ₂ (знаменатель) при внесении следующих соединений ТМ			
	нитраты	сульфаты	хлориды	оксиды
Медь				
Контроль	7,3/31,2	7,3/31,2	7,3/31,2	7,3/31,2
1 ПДК	7,2/31,5	7,0/32,4	7,0/32,3	7,3/31,0
10 ПДК	7,0/31,8	6,6/33,1	6,7/33,0	7,0/31,7
50 ПДК	6,9/31,6	5,1/33,5	5,0/32,6	7,0/31,5
100 ПДК	6,5/32,3	4,3/33,7	4,5/29,7	7,0/32,5
Цинк				
Контроль	7,2/29,4	7,2/30,1	7,2/28,9	7,2/30,1
1 ПДК	7,2/29,9	7,0/30,2	7,1/29,0	7,2/30,1
10 ПДК	7,1/30,4	6,9/30,1	6,8/28,4	7,2/30,2
50 ПДК	7,0/30,3	6,6/31,4	6,5/30,1	7,2/30,2
100 ПДК	6,8/30,4	6,4/30,9	6,2/30,3	7,2/30,2
Свинец				
Контроль	7,3/29,4	7,3/29,4	7,3/30,2	7,3/30,0
1 ПДК	7,3/30,0	7,3/29,3	7,2/30,2	7,2/29,9
10 ПДК	7,1/30,0	7,3/29,4	7,0/30,8	7,2/30,1
50 ПДК	7,1/30,2	7,3/29,1	7,0/30,9	7,4/29,7
100 ПДК	7,0/30,5	7,3/29,3	7,1/31,1	7,3/29,7

Таблица 6

Содержание тяжелых металлов в кукурузе и почвах после внесения сорбентов

Кесте 6

Ауыр металдардың сорбенттер енгізілген кезде жүгері мен топырақ құрамындағы мөлшері

Table 6

Content of heavy metals in corn and soil following sorbent application

Концентрация ТМ	Содержание тяжелых металлов, мг/кг			
	Без сорбентов (кукуруза / почва)	Бентонит + отходы риса (кукуруза / почва)	Бентонит + ГК (кукуруза / почва)	Бентонит + отходы пшеницы (кукуруза / почва)
Pb (500 мг/кг)	80,3 / 518,4	1,2 / 0,4	0,8 / 0,3	0,3 / < 0,01
Cu (250 мг/кг)	22,8 / 270,6	9,1 / 6,8	5,9 / 6,6	0,2 / 0,2
Zn (300 мг/кг)	7,7 / 312,2	6,9 / 2,7	5,5 / 2,7	3,7 / 1,6

Обсуждение

Полученные данные по химическому, минералогическому и физико-химическому составу Урангайской (УГ) и Ибатинской (ИГ) глин демонстрируют их высокий потенциал в качестве природных сорбентов для целей экологической ремедиации, особенно в условиях загрязнения тяжелыми металлами (ТМ).

Минералогическая характеристика и влияние структуры

Основу как Урангайской, так и Ибатинской глины составляет монтмориллонит (65–87%) – представитель смектитовой группы с типичной 2:1-слоистой структурой. Это обеспечивает:

- наличие расширяемого межслоевого пространства, активного при гидратации;
- высокую степень набухания (до 17-кратного увеличения объема);
- развитие микропористости и коллоидных свойств, особенно в УГ (коллоидная фракция до 85%).

Такая структура способствует эффективному ионному обмену и сорбции ионов тяжелых металлов, органических соединений и других загрязнителей. Особо важным является наличие диоктаэдрического монтмориллонита, что указывает на стабильность структуры при гидратации и высокую емкость катионного обмена.

Химический состав: возможности для ионного обмена

Глинистая матрица представлена преимущественно диоксидом кремния (SiO_2 до 66,3% после активации) и глиноземом (Al_2O_3), с примесями железа, кальция, магния, калия и натрия. Эти элементы образуют сложную алюмосиликатную решетку, способную к ионному обмену, особенно в условиях кислотной активации.

• Суммарное содержание оксидов $CaO + MgO$ достигает 5,37%, а щелочных оксидов ($K_2O + Na_2O$) – 3,65%, что свидетельствует о наличии природных обменных катионов.

• Присутствие гумуса в УГ (1,54%) повышает аффинитет глины к органическим соединениям и металлоорганическим комплексам, что особенно важно при сорбции комплексных форм ТМ.

Сорбционные и физико-химические свойства

Показатели сорбционной емкости Урангайской глины особенно высоки:

- Удельная поверхность – до $132 \text{ м}^2/\text{г}$ (в среднем $\sim 125 \text{ м}^2/\text{г}$);
- Катионообменная емкость (ЕКО) – 63–100 мг-экв/100 г;
- Предельный сорбционный объем (V_d) – до $0,25 \text{ см}^3/\text{г}$;
- Общая пористость – 43–47%.

Эти характеристики делают глину высокоэффективным сорбентом. Кроме того, значительное содержание микропор и наличие обменных катионов (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) обеспечивает фиксацию ТМ за счет механизма ионного обмена.

Влияние кислотной активации

Обработка УГ растворами H_2SO_4 приводит к значительному изменению текстурных и сорбционных характеристик:

- рост содержания SiO_2 до 66,3% и уменьшение Al_2O_3 и Fe_2O_3 ;
- увеличение удельной поверхности и пористости (до 69,4%);

• рост сорбционного объема по воде в 2 раза, по бензолу – в 4 раза (до $0,62 \text{ см}^3/\text{г}$).

Это свидетельствует о разрушении алюмосиликатной решетки и формировании дополнительной микропористости, что расширяет диапазон адсорбируемых веществ от гидрофильных до гидрофобных.

Буферные свойства и устойчивость к ТМ

Эксперименты по моделированию загрязнений сероземов различными формами ТМ (нитрат, сульфат, хлорид, оксид) показали, что:

- оксидные формы ТМ незначительно влияют на pH почвы, не нарушая кислотно-щелочной баланс;
- сульфатные и хлоридные формы меди и цинка вызывают заметное подкисление среды (pH до 4,3–5,1 при 100 ПДК), что увеличивает подвижность ТМ;
- однако при использовании сорбентов, особенно бентонита в сочетании с ГК и агроотходами, достигается резкое снижение содержания ТМ в растениях и почвах (например, Pb : с 518,4 до $< 0,01 \text{ мг/кг}$ в почве и с 80,3 до $0,3 \text{ мг/кг}$ в растениях).

Эффективность комбинации бентонита с органическими добавками

Применение смешанных сорбентов на основе бентонита с гуминовыми кислотами (ГК), рисовой или пшеничной соломой значительно повышает эффективность фиксации ТМ:

- за счет сочетания механизмов адсорбции, комплексобразования и осаждения;
- органические компоненты усиливают удержание ТМ в виде нерастворимых комплексов;
- такая комбинация снижает биодоступность ТМ, препятствуя их поступлению в растения.

Заключение

Проведенные исследования подтверждают высокую эффективность Урангайской (УГ) и Ибатинской (ИГ) глин в качестве природных сорбентов для экологической ремедиации, особенно в условиях загрязнения тяжелыми металлами. Минералогическая основа в виде монтмориллонита с развитой 2:1-слоистой структурой, высокая степень набухания, значительное содержание глинистой и коллоидной фракции, а также крупная удельная поверхность (до $132 \text{ м}^2/\text{г}$) и высокая катионообменная емкость (до 100 мг-экв/100 г) обуславливают способность этих глин эффективно фиксировать широкий спектр ионов.

Химическая активация Урангайской глины серной кислотой усиливает ее сорбционные свойства за счет увеличения микропористости, удельной поверхности и статической активности, что расширяет спектр потенциально адсорбируемых загрязнителей от гидрофильных до гидрофобных.

Эксперименты по фиксации ТМ в почве и растениях показывают, что применение УГ в комбинации с органическими материалами (гуминовые кислоты, агроотходы) обеспечивает комплексный механизм сорбции: ионный обмен, комплексобразование и осаждение. Это позволяет значительно снижать содержание ТМ в почвах (например, содержание Pb – с 518,4 до $< 0,01 \text{ мг/кг}$) и в растениях (Pb – с 80,3 до $0,3 \text{ мг/кг}$).

Таким образом, Урангайская и Ибатинская глины, особенно после химической активации и в сочетании с органическими добавками, представляют собой перспектив-

ные, доступные и экологически безопасные материалы для рекультивации загрязненных почв и снижения биодоступности тяжелых металлов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чэнь Х., Ван Х., Сон Ю., Чи Ю. (2024). Обзор исследований о влиянии антропогенных воздействий на взаимодействие растений, почвы и микроорганизмов в пастбищных экосистемах: на основе перспектив выпаса скота и туризма. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122890> (на английском языке)
2. Барра Караччоло А., Теренци В. (2021). Микробные сообщества ризосферы и тяжелые металлы. *Microorganisms*. <https://doi.org/10.3390/microorganisms90714623> (на английском языке)
3. Сун С., Ву П., Ван Г., Конг Х. (2022). Загрязнение тяжелыми металлами снижает стабильность сетей совместного обитания микроорганизмов в ризосфере местных растений. *Front. Environ. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.979922> (на английском языке)
4. Переломов Л., Герцен М., Бурачевская М., Хемалата С., Виджаялакшми А., Переломова И., Атрощенко Ю. (2024). Органоглины на основе бентонита и различных типов поверхностно-активных веществ в качестве восстановителей тяжелых металлов. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16114804> (на английском языке)
5. Лю Х., Фу Т., Сарвар М.Т., Ян Х. (2023). Последние достижения в области адсорбции радионуклидов материалами на основе бентонита в качестве идеальных адсорбентов и буферных/засыпочных материалов. *App. Clay Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106796> (на английском языке)
6. Синту Ван, Янхуэй Сюй, Цинь Оу, Вэньвен Чен, Уолтер ван дер Меер, Ган Лю. (2024). Характеристики и механизмы адсорбции водорастворимых полимеров (ПВП и ПЭГ) на минералах каолин и монтмориллонит. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133592> (на английском языке)
7. Превращение природных ресурсов в передовые решения: вклад адсорбентов на основе глины в адсорбцию диоксида углерода (CO₂) / Алтаф Ф. [и др.] // *Trans. Tianjin Univ.* 2025. № 31. С. 74–130 (на английском языке)
8. Закиров М., Аззамова И., Норматова Н., Бегимкулов Д., Очилов Г., Джулиев М. (2023). Бентонитовые глины Центральных Кызылкумов, их вещественный состав и инженерно-геологические свойства, Узбекистан. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338601006> (на английском языке)
9. Шоканов А., Манакова И., Верецк М., Мигунова А. (2024). Характеристика глин Казахстана методами Мессбауэровской спектроскопии и рентгеновской дифракции. *Minerals*. <https://doi.org/10.3390/min14070713> (на английском языке)
10. Саинова Г.А., Калиева Н.А., Юлдашбек Д.Х., Акбасова А.Д. (2023). Влияние биогуруса и различных концентраций свинца на ферментативную активность сероземных почв Казахстана. *Scientifica (Kaup)*. <https://doi.org/10.1155/2023/8490234> (на английском языке)
11. Оценка эффективности биостабилизации в улучшении геотехнических характеристик деградированных почв аридных территорий Казахстана / Сунакбаева Д.К. [и др.] // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2025. Т. 4 (472). С. 295–311 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Чен Х., Ван Х., Сонг Ю., Чи Ю. (2024). Антропогендік бұзылулардың жайылымдық экожүйелердегі өсімдік-топырақ-микроорганизмдердің өзара әрекеттесуіне әсері туралы зерттеулерге шолу: жайылым және туризм перспективаларына негізделген. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122890> (ағылшын тілінде)
2. Барра Караччоло А., Теренци В. (2021). Ризосфералық микробтық қауымдастықтар және ауыр металдар. *Microorganisms*. <https://doi.org/10.3390/microorganisms90714623> (ағылшын тілінде)
3. Sun S., Wu P., Wang G., Kong X. (2022). Ауыр металдардың ластануы жергілікті өсімдіктердің ризосферасындағы микробтардың қатар жүретін желілерінің тұрақтылығына әсері. *Front. Environ. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.979922> (ағылшын тілінде)
4. Переломов Л., Герцен М., Бурачевская М., Хемалата С., Виджаялакшми А., Переломова И., Атрощенко Ю. (2024). Бентонит негізіндегі органикалық желімдер және ауыр металдарды қалпына келтіретін беттік активті заттардың түрлері. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16114804> (ағылшын тілінде)
5. Лю Х., Фу Т., Сарвар М.Т., Ян Х. (2023). Бентонит негізіндегі материалдар арқылы радионуклидтердің адсорбциялануындағы соңғы жетістіктер идеалды адсорбенттер

және буферлік/толтырғыш материалдар ретінде. *App. Clay Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106796> (ағылшын тілінде)

6. Синту Ван, Янхуэй Сю, Цин Оу, Вэнвэн Чен, Уолтер ван дер Меер, Ган Лю. (2024). Каолин мен монмориллонит минералдарындағы суда еритін полимерлердің (PVP және PEG) адсорбциялық сипаттамалары мен механизмдері. *Journal of Hazardous Materials.* <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133592> (ағылшын тілінде)
7. Табиғи ресурстарды озық шешімдерге айналдыру: Саз негізіндегі адсорбенттердің көмірқышқыл газының (CO₂) адсорбциясына қосқан үлесі / Алтаф Ф. [және т. б.] // *Trans. Tianjin Univ.* 2025. № 31. Б. 74–130 (ағылшын тілінде)
8. Закиров М., Агзамова И., Норматова Н., Бегимкулов Д., Очилов Г., Джулиев М. (2023). Орталық Қызылқұмның бентонит саздары және олардың материалдық құрамы мен инженерлік-геологиялық қасиеттері, Өзбекстан. *E3S Web of Conferences.* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338601006> (ағылшын тілінде)
9. Шоканов А., Манакова И., Верещак М., Мигунова А. (2024). Қазақстандық саздардың Мессбауэр спектроскопиясы және рентгендік дифракция әдісі бойынша сипаттамасы. *Minerals.* <https://doi.org/10.3390/min14070713> (ағылшын тілінде)
10. Саинова Г.А., Калиева Н.А., Юлдашбек Д.Х., Акбасова А.Д. (2023). Қазақстанның сұр топырағының ферментативті белсенділігіне вермикомпост пен қорғасынның әр түрлі концентрациясының әсері. *Scientifica (Каир).* <https://doi.org/10.1155/2023/8490234> (ағылшын тілінде)
11. Қазақстанның шөлейтті аумақтарындағы деградацияға ұшыраған топырақтардың геотехникалық қасиеттерін жақсартуда биостабилизацияның тиімділігін бағалау / Сунакбаева Д.К. [және т. б.] // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences.* 2025. Т. 4 (472). Б. 295–311 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Chen X., Wang X., Song Y., Chi Y. (2024). A Review of Studies on the Effects of Anthropogenic Disturbances on Plant-Soil-Microorganism Interactions in Grassland Ecosystems: Based on Grazing and Tourism Perspectives. *Agronomy.* <https://doi.org/10.3390/agronomy14122890> (in English)
2. Barra Caracciolo A., Terenzi V. (2021). Rhizosphere Microbial Communities and Heavy Metals. *Microorganisms.* <https://doi.org/10.3390/microorganisms90714623> (in English)
3. Sun C., Wu P., Wang G., Kong X. (2022). Heavy metal pollution decreases the stability of microbial co-occurrence networks in the rhizosphere of native plants. *Front. Environ. Sci.* <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.979922> (in English)
4. Perelomov L., Gertsen M., Burachevskaya M., Hemalatha S., Vijayalakshmi A., Perelomova I., Atrashchenko Y. (2024). Organoclays Based on Bentonite and Various Types of Surfactants as Heavy Metal Remedants. *Sustainability.* <https://doi.org/10.3390/su16114804> (in English)
5. Liu H., Fu T., Sarwar M.T., Yang H. (2023). Recent progress in radionuclides adsorption by bentonite-based materials as ideal adsorbents and buffer/backfill materials. *App. Clay Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106796> (in English)
6. Xintu Wang, Yanghui Xu, Qin Ou, Wenwen Chen, Walter van der Meer, Gang Liu. (2024). Adsorption characteristics and mechanisms of water-soluble polymers (PVP and PEG) on kaolin and montmorillonite minerals. *Journal of Hazardous Materials.* <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133592> (in English)
7. Transforming Natural Resources into Advanced Solutions: The Contribution of Clay-Based Adsorbents to Carbon Dioxide (CO₂) Adsorption / Altaf F. [et al.] // *Trans. Tianjin Univ.* 2025. No. 31. 74–130 pp. (in English)
8. Zakirov M., Agzamova I., Normatova N., Begimkulov D., Ochilov G., Juliev M. (2023). Bentonite clays of the Central Kyzylkum and their material composition and engineering and geological properties, Uzbekistan. *E3S Web of Conferences.* <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338601006> (in English)
9. Shokanov A., Manakova I., Vereshchak M., Migunova A. (2024). Characterization of Kazakhstan's clays by Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction. *Minerals.* <https://doi.org/10.3390/min14070713> (in English)
10. Sainova G.A., Kaliyeva N.A., Yuldashbek D.Kh., Akbasova A.D. (2023). The Influence of Vermicompost and Various Concentrations of Lead on the Enzymatic Activity of Sierozem Soils of Kazakhstan // *Scientifica (Cairo).* <https://doi.org/10.1155/2023/8490234> (in English)
11. Yuldashbek D.Kh., Aitekova K., Nurmakova S.M., Waris M. (2025) Assessment of the effectiveness of biostabilization in improving the geotechnical properties of degraded soils in the arid regions of Kazakhstan / Sunakbaeva D.Kh. [et al.] // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences.* 2025. V. 4 (472). 295–311 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Сунакбаева Д.К., к. т. н., Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан), dilara.sunakbayeva@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0006-3727-4891>

Юлдашбек Д.Х., магистр химии, ст. научный сотрудник НИИ «Экология», Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан), davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9342-7502>

Айтекова К.У., к. т. н., ассистент профессора, Международный Таразский университет им. Шерхана Муртазы (г. Тараз, Казахстан), Aytekova1972@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8439-944X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сунакбаева Д.К., т. ғ. к., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

Юлдашбек Д.Х., химия магистрі, «Экология» ҒЗИ-ның аға ғылыми қызметкері, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

Айтекова К.У., т. ғ. к., профессордың ассистенті, Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті (Тараз қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sunakbaeva D.K., candidate of technical sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Yuldashbek D.Kh., Master of Chemistry, Senior Researcher of the Research Institute «Ecology», Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Aitekova K.U., candidate of technical sciences, assistant professor, Sherkhan Murtaza International Taraz University (Taraz, Kazakhstan)

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ КАЗАХСТАНА



ПОДПИСКА' 2026 РЕКЛАМНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВО

POST-DTS@YANDEX.KZ / +7 747 343 15 02 / MINMAG.KZ

Код МРНТИ 53.37.15

Г.Д. Кенжалиева¹, *Л.М. Оралбекова¹, А.С. Наукенова¹, А.Д. Байботаева²
¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті (Шымент қ., Қазақстан),
²Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан)

ТОПЫРАҚ ПЕН ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНА ӘСЕРІН АНЫҚТАУ ҮШІН ҚАЛДЫҚТАРДЫҢ МОРФОЛОГИЯЛЫҚ КОМПОНЕНТТЕРІНІҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Қазақстан Республикасында қалдықтарды жинау және кәдеге жарату жүйесінің қолданыстағы тетігінде тұрмыстық медициналық қалдықтарды кәдеге жарату регламенттелмеген, бұл өз кезегінде көптеген экологиялық проблемаларды тудырады. Мақалада тұрмыстық медициналық қалдықтарды қоса алғанда, жалпы қалдықтардың құрамы қарастырылады. Қалдықтар топырақтың, жер асты суларының ластану көзі болып табылатындығын ескере отырып, топырақ құрамы, жер асты сулары бойынша зерттеулер жүргізу және оған ықтимал теріс әсерді анықтау қажеттілігі туындайды. Егер қалдықтары бар полигондар пайдалы қазбалар кен орындарына жақын болса, бұл екі есе өзекті. Ұсынылып отырған қалдықтарды жинау және кәдеге жарату жүйесін енгізу оларды елімізде тиімді басқаруға және олардың айналымын бірінші жағдайға ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: компонент, гигиена, санитария, қауіп, химиялық құрам, қалдықтар, топырақ.

Study of the chemical composition of waste morphological components to determine their impact on soil and groundwater

Abstract. In the current mechanism of the waste collection and disposal system in the Republic of Kazakhstan, the disposal of household medical waste is not regulated, which, in turn, causes many environmental problems. The article discusses the composition of general waste, including household medical waste. Taking into account the fact that waste is a source of soil, groundwater pollution, there is a need to conduct research on the composition of the soil, groundwater and determine the possible negative impact on it. This is doubly relevant if landfills with waste are located close to mineral deposits. The proposed introduction of a waste collection and disposal system will allow us to effectively manage them in the country and organize their circulation into a single system.

Key words: component, hygiene, sanitation, danger, chemical composition, waste, soil.

Исследование химического состава морфологических компонентов отходов для выявления ее влияния на почву и подземную воду

Аннотация. В действующем механизме системы сбора и утилизации отходов в Республике Казахстан не регламентирована утилизация бытовых медицинских отходов, что, в свою очередь, вызывает множество экологических проблем. В статье рассматривается состав общих отходов, включая бытовые медицинские отходы. Учитывая, что отходы являются источниками загрязнения почвы, подземной воды, возникает необходимость проведения исследований состава почвы, подземной воды и выявления потенциального негативного воздействия на нее. Указанное вдвойне актуально, если полигоны с отходами находятся вблизи месторождений полезных ископаемых. Внедрение предлагаемой системы сбора и доведения до утилизации отходов позволит эффективно управлять ими в нашей стране и организовать их оборот в единую систему.

Ключевые слова: компонент, гигиена, санитария, опасность, химический состав, отходы, почва.

Кіріспе

Қазіргі заманда әлемдегі ең маңызды мәселелердің бірі – қалдықтармен қауіпсіз жұмыс істеуді қамтамасыз ету. Қалдықтар адамды жан-жақтан қоршап, оның өмір сүру жағдайына және денсаулығына теріс әсер етуде. Қалдықтар өндіріс орындарында, әсіресе кеніш орындарында, тұрмыстық жағдайда үнемі түзіліп отырады, ауыл шаруашылығына қажетті жерді алып жатады, жерасты суларға қосылады, мұхиттарға төгіледі, тіпті ғарыштық қалдықтар түрінде жерге түседі. Өндірістік және тұтынушылық қалдықтарды басқару саласындағы қолайсыз жағдай қоршаған ортаның тозуына әкеліп, халық денсаулығына нақты қауіп төндіреді. Біріккен Ұлттар ұйымы деректеріне сәйкес, мезгілінен бұрын өлім жағдайларының 18%-ы қолайсыз экологиялық жағдайлардан туындайды, соның ішінде 1%-ы өндірістік, медициналық кері әсеріне тиесілі.

Қалдықтар мәселесін шешудегі негізгі ғылыми және қолданбалы міндеттердің бірі олардың адам денсаулығына және қоршаған ортаға елеулі қауіптерін анықтау болып табылады. Қалдықтардың экологиялық және гигиеналық маңызын бағалау мыналардан тұрады: олардың қызметкерлер мен пациенттердің денсаулығына әсері, қалдықтарды тасымалдау, кәдеге жарату және көмумен байланысты халықтың кәсіптік топтарының денсаулығына қауіпі; қалдықтарды орналастырудың әртүрлі (экологиялық, әлеуметтік, экономикалық және т.б.) әдістерін қолданудың салдары [1, 2].

Әдебиеттерге шолуда көрсетілгендей, медициналық қалдықтар эпидемиологиялық көрсеткіші және қауіптілік сипаты мен дәрежесі бойынша А, Б және С кластарына

жіктеледі; ал уыттылығы бойынша А және С кластарына және радиациялық факторы бойынша – D класына жіктеледі. Бұл ретте қауіпті химиялық заттар А, Б және С кластарының қалдықтарында болуы мүмкін, олардың қауіптілік дәрежесі қолданыстағы жіктеуде жоқ және де олар кез келген жолмен есепке алынады. Біздің алға қойған міндеттердің бірі – әртүрлі типтегі медициналық мекемелердің А, Б және С класты қалдықтарының морфологиялық құрамын анықтау қажеттілігі болып табылады. Қазақстан Республикасында медициналық қалдықтарды жинау және утилизациялау жүйесінің қолданыстағы тетігінде тұрмыстық медициналық қалдықтарды утилизациялау қызметі регламенттелмеген, бұл өз кезегінде көптеген экологиялық мәселелерді тудыруда [3].

Зерттеудің мақсаты. Қалдықтардың морфологиялық компоненттерінің эколого-гигиеналық және санитарлық қауіптілігін анықтау үшін химиялық құрамын зерттеу.

Зерттеу нысаны. Шымкент қаласы және Түркістан облысындағы, сондай-ақ Түркістан қаласындағы денсаулық сақтау мекемелері.

Зерттеу әдістемесі. Токсикологиялық-гигиеналық зерттеулер қалдықтарды бағалаудың жалпы қабылданған қағидаттарына «Ұлы өндірістік және тұтыну қалдықтарының қауіптілік класын анықтаудың санитарлық ережелері», «Қалдықтар, қоршаған орта, адам»; «Елді мекендердегі топырақ сапасын гигиеналық бағалау», «Топырақтағы химиялық заттардың максималды шекті концентрациясын (МШК) гигиеналық негіздеу бойынша нұсқаулық», «Шаруашылық-ауыз және су объектілерінің суларындағы

химиялық заттардың гигиеналық нормативтерін негіздеу», «Өндірістік және тұтыну қалдықтарының уыттылығын экспресс-бағалау» әдістемелік нұсқауларға сәйкес жүргізілді. Бастапқы материалдардың сипаттамаларын және морфологиялық құрамын анықтау үшін стандартты әдістер қолданылады, ал олардың физика-химиялық және морфологиялық қасиеттерін анықтау үшін Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) және инфракрасная спектроскопиялық (ИКС) талдаулар қолданылады.

Нәтижелер

Қалдық шығатын мекемелерді талдау үшін таңдау кезінде іріктеудің репрезентативтілік принципі бірінші орынға қойылды. Жұмыс барысында Шымкент қаласы және Түркістан облысындағы, сондай-ақ Түркістан қаласы бойынша денсаулық сақтау мекемелерінің барлық негізгі түрлері бойынша алдыңғы зерттеулердің деректері талданды [4]. Қолда бар деректерді нақтылау үшін денсаулық сақтау мекемелерінде біз әртүрлі типтегі 24 денсаулық сақтау мекемесінен қалдықтардың үлгілерін алдық. Зерттелетін медициналық мекемелерінде сынама-ларды іріктеу залалсыздандыру алаңында, ал ол болмаған жағдайда медициналық қалдықтарды уақытша сақтау орнында жүргізілді, бұл оның құрамына енгізілген жаңа дезинфекциялық технологияларды қолдану ерекшеліктеріне байланысты болды.

Қалдықтар мәселесін шешудің өзектілігі біздің елімізде де, шет елдерде де күмән тудырмайды. Ресми мәліметтер бойынша жыл сайын 30 млн тоннаға жуық қалдықтар түзіледі.

АҚШ-да Қоршаған ортаны қорғау агенттігінің мәліметтері бойынша 4,6 млн тонна медициналық қалдықтар генерацияланады, ал Францияда – шамамен 700 000 т/жыл, Италияда – 250 000 т/жылына.

1979 жылы Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы – медициналық қалдықтарды қауіпті тобына жатқызып, оларды қайта өңдей бойынша қызмет құруды ұсынды. 1992 жылы Базельск конвенциясы қауіпті қалдықтардың 45 түрін белгіледі, бұл тізім клиникалық қалдықтармен басталады.

Қауіпті қалдықтар – бұл қатты қалдықтар немесе олардың қоспасы. Олар табиғатына, химиялық немесе инфекциялық компоненттерінің шоғыры, сонымен қатар физикалық факторлары бойынша болуы мүмкін:

- өлім көрсеткішінің жоғарылауының немесе күрделі және қайтымсыз аурулардың, сонымен қатар мүгедектікке әкеліп соғатын аурулардың жиілеуінің себепкері;

- өңдеу, сақтау, тасымалдау, аластату, қайта өңдеу кезіндегі қателіктер жағдайында немесе болашақта адамның денсаулығы мен қоршаған орта күйі үшін потенциалды қауіп төндіруі [5].

Медициналық мекемелердің даму түрі мен тенденциясын, медицина саласының даму деңгейін есепке ала отырып, жаңа технологиялардың туындауы нәтижесінде медициналық қалдықтардың морфологиялық құрамы өзгеруде, нәтижесінде олардың химиялық құрамдары да өзгеруде. Бұл өзгерістер мәселесі бойынша отандық және шет елдік мамандар теориялық зерттеулер жүргізуде.

Үлкен орталық аурухананың қалдықтарын морфологиялық талдау көрсеткендей, ондағы негізгі компоненттер:

пластмасса – 48%; қағаз – 35%; шыны – 6,5%; металдар – 0,9%; анатомиялық қалдықтар – 0,4%; сұйықтықтар – 9%; өзгеде қалдықтар – 0,3%.

Автор [6] мәліметтеріне сәйкес медициналық қалдықтардың құрамында пластиктерден өзге 18% дейін жанбайтын қалдық заттар бар және де медициналық қалдықтардың құрамы емдеу мекемелерінің түріне тікелей тәуелді болады.

Ескере кететін тағы бір жағдай, медициналық қалдықтардың құрамында микробиологиялық және уытты қоспалардан өзге, радиобелсенді және полимерлі материалдар да кездеседі, және де соңғысының мөлшері тұрмыстық қалдықтар құрамындағы мөлшерінен 5 есе жоғары кездеседі.

Алайда, бүгінгі таңға дейін медициналық қалдықтардың морфологиялық құрамын жүйелі түрде зерттеулер жүргізілмеген. Осыған орай алдағы ғылыми-зерттеу жұмыстарының мақсаты ретінде медициналық емдеу мекемелері қалдықтарының химиялық және морфологиялық құрамдарын зерттеу қойылып отыр.

Авторлар [7, 8] зерттеу жұмыстарында медициналық қалдықтардың келесідей элементтік құрамы келтірілген: көміртегі (20,9%), сутегі (2,65%), оттегі (14,14%), азот (0,83%), күкірт (0,08%), хлор (2,08%). Емдеу-профилактикалық мекемелері қалдықтарында 50% көміртегі, 20% оттегі, 6% сутегі және басқа да көптеген элементтер мен қауіпті компоненттер.

Санитарлық ережелерде тұрмыстық және медициналық қалдықтардың ықпал ететін жерасты суларынан анықталған басымдық ластанулар көрсетілген. Оларға жататындар: мұнай өнімдері, фенолдар, аммоний, темір, кадмий, акриламид, стирол, хлоридтер, СББЗ, қорғасын, марганец.

Бұл жағдайда, инфекциялық және анатомиялық қалдықтар қауіпті қалдықтардың 15% құрайды, медициналық құралдар – 1%, фармацевтикалық препараттар – 3%, цитоуытты, радиобелсенді және ауыр металлар мазмұндайтын қалдықтар – 1% [9].

Емдеу-профилактикалық мекемелерінде қолданылатын көптеген химикаттар мен фармацевтикалық препараттар қауіпті болып табылады. Бұл заттар әдетте медициналық қалдықтарда аз мөлшерде кездеседі, көп мөлшерде қажетсіз немесе мерзімі өткен химикаттар мен фармацевтикалық препараттарды аластату кезінде орын алуы мүмкін. Сонымен қатар, белсенді химикаттар жоғары уытты екіншілей қосылыстар түзуі мүмкін.

Медициналық қалдықтардың морфологиялық компоненттерінің эколого-гигиеналық және санитарлық қауіптілігін анықтау үшін, олардың химиялық құрамын анықтау қажеттілігі туындайды. Бұл зерттеу жұмыстарының негізгі нысаны болып табылады.

Медициналық қалдықтардың химиялық құрамын зерттеу оларды санитарлы-химиялық бағалау үшін қажет. Себебі, қауіпті химиялық компоненттердің мазмұнына және шоғырына олардың уыттылығы және өзге биологиялық эктілері тікелей тәуелді болады. Бірақ, медициналық мекемелер қалдықтарының химиялық құрамы бүгінгі таңға дейін жүйелі түрде зерттелмеген. Жетекші ғалымдардың мәліметтері [10] олардың химиялық құрамының жеткілікті дәрежеде алуан түрлі екенін дәлелдейді.

Дегенмен, алынған мәліметтер жалпылама сипатқа ие, себебі, қалдықтар іс жүзінде қолданыстағы қауіптілік сыныптарына бөлумен байланысты мәселелер ескерілмеген.

Нәтижелерді талдау

Негізінен морфологиялық құрамына тәуелді қалдықтардың химиялық құрамы анықталады. Осыған орай, түрлі қауіптілік сыныптарындағы медициналық қалдықтардың химиялық құрамдарын анықтау тәжірибелері жүргізілді.

Жұмыстың бірінші сатысында А сыныбындағы қалдықтардың химиялық құрамын зерттеу болды. Органикалық заттардың мазмұны бойынша алынған мәліметтер кестеде келтірілген.

Кесте 1

А сыныбындағы медициналық қалдық үлгісіндегі органикалық заттар

Table 1

Organic substances in samples of class A medical waste

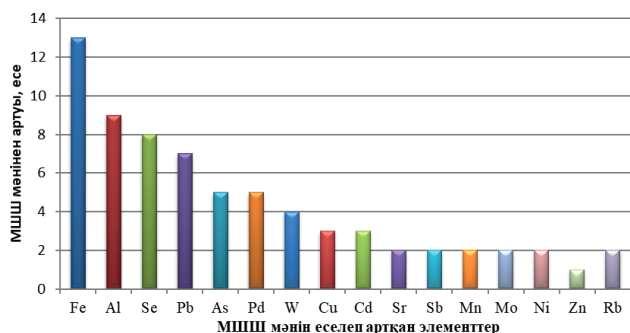
Таблица 1

Органические вещества в образцах отходов класса А

Зат атауы	Максималды шекті концентрация – МШК МШШ, мг/л	Шоғыры, мг/л
Фенолдар	0,001	0,00045
Анилин	0,1	0,034
Диметилсульфид	0,01	0,0053
Ацетон	2,2	0,10
Формальдегид	0,05	0,029
Циклогексан	100	0,32

Берілген кестеде көрініп тұрғандай, А тобындағы қалдықтарда көп мөлшерде циклогексан, ацетон, анилин кездеседі. Бірақ, орнатылған шоғырлары мүмкін шектік шоғыр (МШШ) мәнінен аспайды.

А сыныбындағы қалдықтардың құрамынан анықталған бейорганикалық заттардың МШШ мәнін бірнеше есе асып кеткен химиялық құрамы 1 суретте келтірілген.



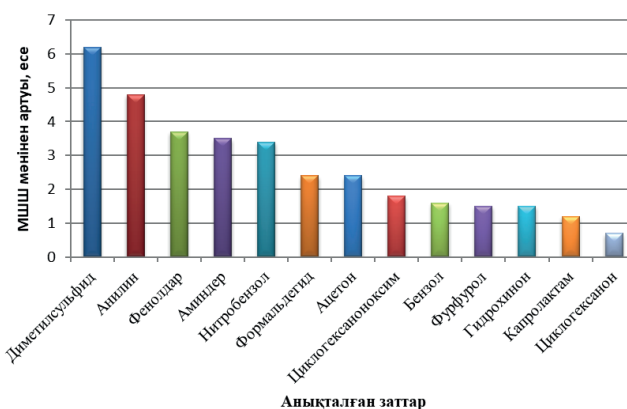
Сурет 1. А сыныбы қалдықтардағы химиялық элементтердің МШК арту көрсеткіштері.

Figure 1. Indicators of increase in MAC of chemical elements in class A waste.

Рис. 1. Показатели увеличения ПДК химических элементов в отходах класса А.

Зерттеу жұмыстарының келесі сатысында Б сыныбындағы зарарсыздандырылған медициналық қалдықтардың химиялық құрамы аппаратты төмен температуралы әдісті қолданып зерттелді.

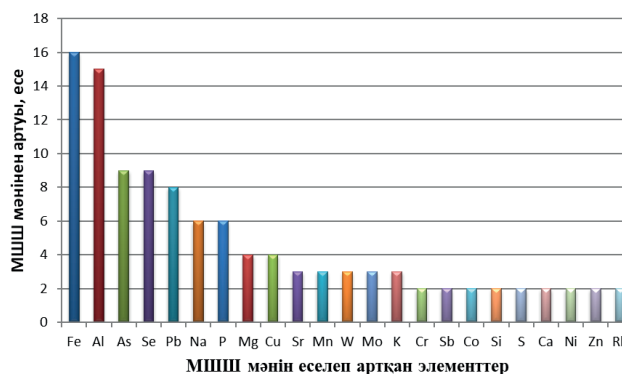
2 суретте Б сыныбындағы зарарсыздандырылған медициналық қалдықтардағы органикалық заттардың мазмұны бойынша мәліметер келтірілген.



Сурет 2. Б сыныбы қалдықтардағы органикалық заттардың МШК арту көрсеткіштері.
Figure 2. Increased MAC values of organic substances in waste class B.

Рис. 2. Повышенные значения ПДК органических веществ в отходах класса Б.

А тобы қалдықтарындағы заттармен салыстырғанда жаңа заттардың бір қатары анықталды: бензол, гидрохинон, амидер, нитробензол, капролактан, циклогексаноксим, фурфурол. Мұндай заттардың мазмұндауы және олардың МШШ мәнінен еселеп артуы, Б тобындағы медициналық қалдықтардың морфологиялық құрамында потенциалды қауіпті заттардың болуымен түсіндіріледі. Б тобының зарарсыздандырылған медициналық қалдықтарындағы минералды заттар мен олардың МШШ мәнінен еселеп арту бойынша мәліметтер 3 суретте ұсынылған [11].



Сурет 3. Б тобындағы медицина қалдықтарындағы химиялық элементтердің МШК мәнінен арту диаграммасы.

Figure 3. Diagram of excess of MAC of chemical elements in medical waste of group B.

Рис. 3. Диаграмма превышения ПДК химических элементов в отходах группы Б.

1 суретте берілген диаграмма көрсеткендей, МШК мәнінен 4 есе артып кеткен 16 элемент анықталған және қорғасын, мышьяк, селен, вольфрам, алюминий, фосфор, темір мөлшері екі есе жоғары.

2 суреттегі диаграммада көрсетілген мәліметтер бойынша көрініп тұрғандай, барлық анықталған заттардың мәні МШК артып кеткен. Ең көп есе артқан мәнге ие заттар: диметилсульфид 6,2 есе, анилин 4,8 есе, фенол, амин және нитробензол 3–3,7 есе, формальдегид және ацетон 2,4 есе [12].

3 суреттегі диаграмма мәліметтеріне сәйкес, МШК мәнін ең жоғары еселеп артуы темір бойынша 16 есе, алюминий 15 есе, мышьяк және селен 9 есе, қорғасын 8 есе және т. б.

Қорытынды

Он жыл аралығындағы мәліметтерді саралай келе, медициналық қалдықтардың морфологиялық және құрылымдық құрамдары бойынша айтарлықтай сапалық және сандық өзгерістер бар деген қорытындыға келдік. Осылайша, барлық компоненттерінің сандық қатынаста айтарлықтай ауытқулары анықталып, бұрын сипатталмаған жаңа компоненттері айқындалды: дезинфекциялық құралдар мен ағаш өнімдері.

Қалдықтар жинақталатын қалалық қоқыс полигондары топырақты, жерасты суларын ластаушы көз болып табылатынын есепке ала отырып, топырақ, жерасты сулар құрамын зерттеу және оларға потенциалды кері әсер ету мүмкіндігін анықтау бойынша зерттеу жұмыстарын әрі қарай жүргізу қажеттігі туындап отыр.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Русаков Н.В., Рахманин Ю.А. Қалдықтар, қоршаған орта, адамзат: М.: Медицина, 2004. 231 б. (орыс тілінде)
2. СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарлық-эпидемиологиялық ережелер мен нормативтер. «Топырақтың сапасына қатысты санитарлық-эпидемиологиялық талаптар» (орыс тілінде)
3. Топырақтағы химиялық заттардың ШРК гигиеналық негіздемесі бойынша әдістемелік ұсыныстар, №2609-82, КСРО ДСМ және т. б. М., 1982. – 57 б. (орыс тілінде)
4. Әдістемелік нұсқаулар «Шаруашылық-ауыз және мәдени-тұрмыстық су пайдалану су айдындарындағы химиялық заттардың гигиеналық нормативтерін негіздеу» МУ 2.1.5.720-98 (орыс тілінде)
5. Ауадағы нафталинді газ-хроматографиялық анықтау бойынша әдістемелік нұсқаулар. МУК 4.1.1042-01. М., 2001. – 12 б. (орыс тілінде)
6. «Шаруашылық-ауыз суды пайдалану және мәдени-тұрмыстық суды пайдалану үшін су объектілеріндегі химиялық заттардың шекті рұқсат етілген концентрациясы (ШРК)» гигиеналық нормативтері. GN 2.1.5.1315-03 (орыс тілінде)
7. Русаков Н.В. Медициналық қалдықтармен жұмыс істеу бойынша заңнаманы жетілдіру жолдарын және зерттеулерді әзірлеу // Гигиена және санитария. 2018. Б. 1011–1014 (орыс тілінде)
8. Акимкин В.Г., Ключев В.М., Русаков Н.В., Галкин В.Ш. Емдеу-профилактикалық мекемелердегі қалдықтарды жою мәселесінің ұйымдастыру-эпидемиологиялық аспектілері // Жинақ: емдік-профилактикалық мекемелердегі қалдықтарды басқару мәселелері, М.: 2003. Б. 9–10 (орыс тілінде)
9. Андриуда В.Е., Чебакова В.С. Молдова Республикасындағы медициналық қалдықтарды басқару // Ресей ғылыми-практикалық конференциясының материалдары: М.: , 2003, Б. 10–13 (орыс тілінде)
10. Қауіпті қалдықтардың трансшекаралық тасымалдануын бақылау туралы Базель келісімі: денсаулық сақтау саласындағы қауіпті қалдықтармен ластанудан қоршаған ортаны басқарудың техникалық сипаттамасы: Женева, 2001. 235 б. (орыс тілінде)
11. Денсаулық сақтау қызметінің қалдықтарын қауіпсіз басқару: ДДҰ, 2017. 51 б. (орыс тілінде)
12. Балақаева А.В. Медициналық қалдықтарды залалсыздандыру қондырғыларының тиімділігі мен қауіпсіздігін бағалау: канд. ... дисс.: М., 2016, 173 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Rusakov N.V., Rakhmanin Yu.A. Otkhody, okruzhayushchaya sreda, chelovek [Waste, environment, human]. Moscow: Meditsina, 2004. 231 p. (in Russian)
2. SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy. «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k kachestvu pochvy» [SanPiN 2.1.7.1287-03. Sanitary and epidemiological rules and regulations. «Sanitary and epidemiological requirements for soil quality»] (in Russian)
3. Metodicheskie rekomendacii po gigienicheskomu obosnovaniyu PDK himicheskikh veshestv v pochve [Methodological recommendations for the hygienic justification of MACs of chemical substances in soil] No. 2609-82, USSR Ministry of Health, etc. Moscow, 1982. – 57 p. (in Russian)
4. Metodicheskie ukazaniya po razrabotke i nauchnomu obosnovaniyu predelno dopustimyh koncentracii vrednykh veshestv v vode vodoemov [Methodological instructions Justification of hygienic standards for chemical substances in water bodies for domestic and drinking water use and cultural and household water use] MU 2.1.5.720-98 (in Russian)

5. *Metodicheskie ukazaniya po gazohromatograficheskomu opredeleniyu naftalina v vozduhe [Guidelines for gas chromatographic determination of naphthalene in the air] MUK 4.1.1042-01. Moscow, 2001. – 12 p. (in Russian)*
6. *Gigienicheskie normativy «Predel'no-dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov khozyaystvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya» [Hygienic standards «Maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in water bodies of domestic and drinking and cultural and household water use»]. GN 2.1.5.1315-03 (in Russian)*
7. *Rusakov N.V. Razvitie issledovaniy i puti sovershenstvovaniya zakonodatel'stva po obrashcheniyu s meditsinskimi otkhodami [Development of research and ways to improve legislation on handling medical waste], Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]. 2018. 1011–1014 pp. (in Russian)*
8. *Akimkin V.G., Klyuzhev V.M., Rusakov N.V., Galkin V.Sh. Organizatsionno-epidemiologicheskie aspekty problemy obezvrezhivaniya otkhodov lechebno-profilakticheskikh uchrezhdenii [Organizational and epidemiological aspects of the problem of waste disposal in medical institutions], Problemy obrashcheniya s otkhodami LPU [Collection: Problems of medical waste management]. Moscow, 2003. 9–10 pp. (in Russian)*
9. *Andriuda V.E., Chebakova V.S. Upravlenie meditsinskimi otkhodami v Respublike Moldova [Medical waste management in the Republic of Moldova], Materialy Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Materials of the Russian Scientific and Practical Conference]. Moscow, 2003. 10–13 pp. (in Russian)*
10. *Bazel'skoe soglasenie po kontrolyu za transgranichnym peremeshcheniem opasnykh otkhodov: tekhnicheskoe opisaniye upravleniya okhranoi okruzhayushchei sredy ot zagryaznenii opasnymi otkhodami zdravookhraneniya [The Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes: A technical description of the management of environmental protection from Hazardous waste pollution]. Zheneva, 2001. 235 p. (in Russian)*
11. *Bezopasnoye upravlenie otkhodami mediko-sanitarnoy deyatel'nosti [Safe waste management of medical and sanitary activities]. WHO, 2017. 51 p. (in Russian)*
12. *Balakaeva A.V. Otsenka effektivnosti i bezopasnosti raboty ustanovok dlya obezrazhivaniya meditsinskikh otkhodov: kand. dissertatsiya [Medical records have been placed in the store: candidate's dissertation]. Moscow, 2016, 173 p. (in Russian)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Русаков Н.В., Рахманин Ю.А. Отходы, окружающая среда, человек: М.: Медицина, 2004. 231 с. (на русском языке)*
2. *СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» (на русском языке)*
3. *Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве, №2609-82, МЗ СССР и др. М., 1982. – 57 с. (на русском языке)*
4. *Методические указания по обоснованию гигиенических нормативов химических веществ в водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования МУ 2.1.5.720-9 (на русском языке)*
5. *Методические указания по газохроматографическому определению нафталина в воздухе. МУК 4.1.1042-01. М., 2001. – 12 с. (на русском языке)*
6. *Гигиенические нормативы «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». ГН 2.1.5.1315-03 (на русском языке)*
7. *Русаков Н.В. Развитие исследований и пути совершенствования законодательства по обращению с медицинскими отходами // Гигиена и санитария. 2018. С. 1010–1014 (на русском языке)*
8. *Акимкин В.Г., Ключев В.М., Русаков Н.В., Галкин В.Ш. Организационно-эпидемиологические аспекты проблемы обезвреживания отходов лечебно-профилактических учреждений // Проблемы обращения с отходами ЛПУ: сб. М.: 2003. С. 9–10 (на русском языке)*
9. *Андрюда В.Е., Чебакова В.С. Управление медицинскими отходами в Республике Молдова // Материалы Российской научно-практической конференции, М., 2003. С. С. 10–13 (на русском языке)*
10. *Базельское соглашение по контролю за трансграничным перемещением опасных отходов: техническое описание управления охраной окружающей среды от загрязнения опасными отходами здравоохранения: Женева, 2001. 235 с. (на русском языке)*
11. *Безопасное управление отходами медико-санитарной деятельности: ВОЗ, 2017. 51 с. (на русском языке)*
12. *Балакаева А.В. Оценка эффективности и безопасности работы установок для обеззараживания медицинских отходов: канд. ... дисс.: М., 2016, 173 с. (на русском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Кенжалиева Г.Д., М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университетінің доценті (Шымкент қ., Қазақстан), nursara@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-7781-9899>

Оралбекова Л.М., Ph.D докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті (Шымкент қ., Қазақстан), K700g81@mail.ru;
<https://orcid.org/0009-0002-3258-0807>

Науkenова А.С., АМЖД директоры М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті Шымкент қ., Қазақстан), n.a.s.1970@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-0596-7141>

Байботаева А.Д., Ph.D докторант, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан), aigul_saraneo@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-8560-9218>

Information about the authors:

Kenzhalieva G.D., associate professor South Kazakhstan University named after M. Aueзов (Shymkent, Kazakhstan)

Oralbekova L.M., Ph.D student South Kazakhstan University named after M. Aueзов (Shymkent, Kazakhstan)

Naukenova A.S., Director of the Department of Academic Affairs of M. Aueзов South Kazakhstan University (Shymkent, Kazakhstan)

Baibotaeva A.D., Ph.D student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Кенжалиева Г.Д., доцент Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

Оралбекова Л.М., Ph.D докторант Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

Науkenова А.С., директор департамента по академическим вопросам Южно-Казахстанского университета им. М. Ауезова (г. Шымкент, Казахстан)

Байботаева А.Д., Ph.D докторант Казахского национального университета им. Аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)



СПТО КРАНЫ
 WWW.CRANE-EXPO.RU

17-19 июня 2026

г. Москва, ВДНХ,
 57 павильон

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СПТО КРАНЫ

СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ЭКСПО ДИЗАЙН
 ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

Код МРНТИ 38.21.01

Н. Әбдімүтәліп, Ә. Құралбай, *Г. Тойчибекова, А. Еримова

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан)

АНТРОПОГЕНДІК ЖӘНЕ КЛИМАТТЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ ӘСЕРІНЕН ТҮРКІСТАН ҚАЛАСЫНЫҢ ТОПЫРАҚ-ЖЕР ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ- ГЕОМОРФОЛОГИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРІ

Аңдатпа. Мақалада Түркістан қаласының топырақ жамылғысына антропогендік жүктемелер мен климаттық өзгерістердің әсері кешенді түрде бағаланған. Көлік және өнеркәсіптік қызметтің артуы мен жауын-шашын тапшылығы топырақ деградациясын күшейтетіні анықталды. Дала және зертханалық талдаулар нәтижесінде топырақтың физика-химиялық қасиеттері мен ауыр металдар (*Pb, Zn, Cu, Cd*) құрамындағы өзгерістер айқындалды. Гумус мөлшері азайып, қышқылдану мен тұздану үрдістері артқаны және ауыр металдар шекті нормадан асқаны байқалды. Экологиялық тұрақтылық төмендеп, көлік пен өндіріс аймақтарында ластану күшейген. Нәтижелер экологиялық мониторинг пен жасыл инфрақұрылымды жоспарлауда маңызды.

Түйінді сөздер: Түркістан қаласы, топырақ жамылғысы, урбанизация, климаттық өзгерістер, деградация, ауыр металдар, гумус, тұздану, экологиялық мониторинг.

Geological and geomorphological changes of the soil-ground cover of Turkistan city under the influence of anthropogenic and climatic factors

Abstract. The article presents a comprehensive assessment of the impact of anthropogenic pressures and climate change on the soil cover of Turkistan city. It was found that increased transport and industrial activities and reduced precipitation intensify soil degradation. Field and laboratory analyses revealed changes in the physico-chemical properties and heavy metal content (*Pb, Zn, Cu, Cd*) of soils. A decrease in humus, increased acidification and salinization, and heavy metal concentrations above permissible limits were observed. Soil ecological stability is declining, especially in transport and industrial zones. The results are significant for environmental monitoring and urban green infrastructure planning.

Key words: Turkistan, soil cover, urbanization, climate change, degradation, heavy metals, humus, salinization, environmental monitoring.

Геолого-геоморфологические изменения почвенно-грунтового покрова города Туркестан под влиянием антропогенных и климатических факторов

Аннотация. В статье проведена комплексная оценка влияния антропогенных нагрузок и климатических изменений на почвенный покров города Туркестан. Установлено, что рост транспортной и промышленной активности, а также дефицит осадков усиливают деградацию почв. По результатам полевых и лабораторных анализов выявлены изменения физико-химических свойств и содержания тяжелых металлов (*Pb, Zn, Cu, Cd*). Отмечено снижение гумуса, усиление подкисления и засоления, превышение концентраций тяжелых металлов над нормами. Экологическая устойчивость почв снижается, особенно в транспортных и промышленных зонах. Результаты важны для экологического мониторинга и планирования зеленой инфраструктуры.

Ключевые слова: город Туркестан, почвенный покров, урбанизация, климатические изменения, деградация, тяжелые металлы, гумус, засоление, экологический мониторинг.

Кіріспе

Түркістан қаласы маңындағы геологиялық орта негізінен төрттік дәуір шөгінділерінен, ал бедердің морфологиялық құрылымы – аллювийлік және пролювийлік жазықтардан тұрады. Соңғы жылдары жүргізілген құрылыс, инженерлік және ирригациялық жұмыстардың әсерінен осы шөгінділердің физикалық-механикалық қасиеттері өзгеріп, топырақ пен жерасты суларының өзара байланысы бұзылуда. Бұл жағдай өз кезегінде экзогендік геологиялық үдерістердің, соның ішінде эрозия, дефляция, суармалы тұздану және шөгінді шөгінділердің тығыздалу процестерінің күшеюіне әкелуде. Осыған байланысты Түркістан қаласының топырақ-жер қабатының геологиялық-геоморфологиялық өзгерістерін зерттеу – өңірдің экологиялық тұрақтылығын бағалау, құрылыс пен жер пайдаланудағы инженерлік шешімдерді оңтайландыру үшін өзекті ғылыми-тәжірибелік мәселе болып табылады. Мұндай зерттеулер жер бедерінің қазіргі морфологиялық динамикасын анықтауға, экзогендік процестердің таралу аймақтарын болжауға және табиғи-техногендік тәуекелдерді төмендету жолдарын ұсынуға мүмкіндік береді [1]. Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық құрылымындағы кеңістіктік өзгерістерді, жер бедері пішіндерінің динамикасын және шөгінді жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу – өңірдің табиғи ортасының тұрақтылығын бағалау мен антропогендік әсер деңгейін анықтау үшін маңызды. Геологиялық-

геоморфологиялық процестердің бағытын түсіну қала аумағында жасыл инфрақұрылымды жоспарлау, инженерлік құрылыстардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету, жердің деградациясын болдырмау және рекультивация мен экологиялық мониторингтің мақсатты шараларын әзірлеу үшін қажет. Қазақстанның оңтүстігінің аридтік аймағында орналасқан Түркістан қаласы зерттеу үшін бірегей табиғи-антропогендік полигон болып табылады. Қала аумағы геоморфологиялық тұрғыда аллювийлік және пролювийлік жазықтармен, сондай-ақ ежелгі өзен аңғарлары мен эолдық формалармен сипатталады. Соңғы онжылдықтарда мұнда халық санының өсуі, қарқынды құрылыс және инфрақұрылымның дамуы нәтижесінде техногендік жүктеме айтарлықтай артқан. Бұл үрдістер жер беті мен жерасты суларының тепе-теңдігін бұзып, эрозиялық және дефляциялық процестердің белсенділенуіне алып келуде. Сонымен қатар, аймақтың климаты - жоғары ауа температурасы мен жауын-шашын тапшылығымен сипатталатын айқын континенттік тип. Мұндай жағдайлар жыныстардың физикалық үгілуін күшейтіп, бедердің морфодинамикасын өзгертеді және геоморфологиялық процестердің (эрозия, шөгінділердің қайта таралуы, карст, дефляция) белсенді жүруіне себеп болады. Бұрын Қазақстанның оңтүстігіндегі зерттеулер көбіне ауыл шаруашылығы жерлерінің топырақ құнарлылығына бағытталған болса, қазіргі уақытта Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық жүйесінің антропогендік және климаттық трансфор-

мациясын кешенді түрде зерттеу өзекті ғылыми міндетке айналып отыр. Алайда Түркістанда қала топырағының жай-күйі бойынша жүйелі жұмыстар өте аз, бұл кешенді талдау жасау қажеттігін туғызады [2, 3].

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Түркістан қаласының нақты табиғи-геологиялық жағдайларында геологиялық және геоморфологиялық процестердің өзара байланысын жүйелі түрде талдаумен айқындалады. Зерттеу барысында жер бедерінің морфодинамикалық өзгерістері мен антропогендік әсерлердің геологиялық ортаның тұрақтылығына ықпалы кешенді бағаланған. Бұл тәсіл аймақтың геоморфологиялық құрылымын, шөгінді жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттерін және экзогендік процестердің даму қарқынын анықтауға мүмкіндік береді. Практикалық маңыздылығы зерттеу нәтижелерін қалалық жоспарлау, инженерлік-құрылыс жобалау, геоэкологиялық мониторинг және территорияны орнықты пайдалану стратегияларына енгізу мүмкіндігімен сипатталады. Геологиялық-геоморфологиялық талдау урбанизация тәуекелдерін, жерасты суларының деңгейінің өзгерісін, топырақ-грунт қабатының отыру және шөгу үрдістерін бағалауға негіз болады.

Зерттеу мақсаты: антропогендік жүктемелер мен климаттық өзгерістердің әсерінен Түркістан қаласының геологиялық ортасы мен жер бедерінің морфодинамикасын кешенді талдау арқылы топырақ-жер қабатының геологиялық-геоморфологиялық өзгерістерін бағалау.

Жоғарыда келтірілген мәліметтерге сүйене отырып, Түркістан қаласының орнықты дамуын қамтамасыз етудегі геологиялық және геоморфологиялық жағдайларды зерттеу іргелі ғылыми және қолданбалы міндеттерді ұштастыра отырып, өзекті бағыт болып табылады. Мұндай зерттеу аймақтың жер бедері мен шөгінді жыныстар жүйесінің картасын жасау, морфогенетикалық және морфодинамикалық процестерді бағалау, сондай-ақ антропогендік және климаттық факторлардың әсерін модельдеу арқылы геологиялық ортаның тұрақтылығын айқындауға мүмкіндік береді. Түркістан қаласының геологиялық-геоморфологиялық жүйесіне әсер ететін негізгі факторлар – қарқынды урбанизация, инженерлік жүктемелердің артуы және аридтік климат жағдайларының күшеюі. Соңғы жылдары жүріп жатқан құрылыс пен инфрақұрылымдық даму нәтижесінде жер беті қабатының бұзылуы, жер бедерінің табиғи дренаждық құрылымының өзгеруі, жыныстардың физикалық-механикалық қасиеттерінің төмендеуі және жердің отыру, шөгу процестерінің белсенділенуі байқалады. Құрылыс алаңдарының ұлғаюы мен топырақтың тығыздалуы табиғи инфильтрацияны шектейді, бұл өз кезегінде жер үсті ағынының артуына, су эрозиясының және жергілікті су басулардың көбеюіне алып келеді. Нәтижесінде геоморфологиялық тепе-теңдік бұзылып, қалалық экожүйенің геодинамикалық тұрақтылығы төмендейді. Қаланың көлік жүйесі мен өндірістік инфрақұрылымы геологиялық ортаның ластануына қосымша әсер етеді. Автокөліктер мен жол желілерінің ұлғаюы нәтижесінде беткі жыныстар мен техногендік шөгінділерде ауыр металдардың, көмірсутектердің және басқа уытты қосылыстардың жиналуы жүреді. Бұл элементтер шөгінді қабаттардың химиялық құрамын өзгертеді және геохимиялық

ағындардың бағытталуына әсер етеді. Сонымен қатар, құрылыс материалдарын өндіретін және коммуналдық саладағы кәсіпорындардан шығатын қалдықтар жер беті мен жерасты суларының сапасына әсер етіп, геохимиялық ластанудың ошақтарын қалыптастырады. Антропогендік факторлармен қатар климаттық өзгерістер де өңірдің геоморфологиялық динамикасына елеулі ықпал етуде. Аридизацияның күшеюі және жауын-шашынның азаюы дефляция мен эолдық процестердің белсенділігін арттырады. Бұл құбылыстардың нәтижесінде беткі қабаттағы борпылдақ шөгінділер мен топырақтың эрозиялық тозуы, гумустың азаюы және бедердің қайта пішінделуі орын алуда. Сонымен қатар, орташа жылдық температураның жоғарылауы булануды күшейтіп, қалалық ортада «жылу аралы» эффектісін қалыптастырады, ол өз кезегінде жер бедерінің микроклиматтық және гидрогеологиялық тепе-теңдігіне әсер етеді. Жоғары антропогендік қысым мен климаттық өзгерістердің үйлесуі Түркістан қаласының геологиялық ортасы мен бедер құрылымында күрделі өзара байланысты процестер кешенін туындатып отыр. Бұл факторлардың жиынтығы жер бедерінің морфодинамикалық тұрақсыздығын, шөгінді қабаттардың механикалық әлсіреуін, эрозиялық және дефляциялық процестердің күшеюін тудырып, қала аумағының орнықты геоэкологиялық дамуына қауіп төндіреді [4].

Бұл зерттеудің ғылыми жаңалығы Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық жүйесінде жүріп жатқан өзгерістерді антропогендік және климаттық факторлардың бір мезгілде әсер етуі тұрғысынан кешенді түрде талдауда жатыр. Зерттеу барысында урбанизациялық қысым, көлік және өндірістік инфрақұрылымның әсері, техногендік жүктемелер мен аридизация, температураның көтерілуі, ылғалдылықтың төмендеуі сияқты климаттық факторлардың өзара байланысы қарастырылады. Мұндай пәнаралық геоэкологиялық тәсіл антропогендік және табиғи стрессорлардың біріккен әсерін анықтап, олардың бедердің морфодинамикасына, жыныстардың тұрақтылығына және экзогендік процестердің белсенділігіне ықпалын айқындауға мүмкіндік береді. Зерттеудің ерекшелігі – Түркістан қаласы аумағында алғаш рет геологиялық және геоморфологиялық өзгерістердің кеңістіктік саралануының кешенді картасы мен морфогенетикалық процестерді бағалау моделі ұсынылуында. Бұл модель табиғи бедердің трансформациясын және оны қоздыратын әлеуметтік-экономикалық факторлардың (құрылыс тығыздығы, көлік инфрақұрылымы, инженерлік жүктеме) өзара байланысын ескеруге мүмкіндік береді. Жұмыстың ғылыми маңыздылығы – аймақтың геологиялық ортасы мен бедерінің тұрақтылығын бағалауға арналған жаңа әдістемелік тәсілді қалыптастыруында. Осы арқылы жер бедерінің тұрақсыз аймақтарын, жыныстардың физикалық-механикалық әлсіреу аймақтарын және топырақ-жер қабатының деградациялық зоналарын анықтау мүмкіндігі туындайды. Алынған нәтижелер геоэкологиялық мониторинг жүйесін жетілдіруге, қалалық жоспарлау мен инженерлік қорғау шараларын негіздеуге, сондай-ақ аридтік климат пен қарқынды урбанизация жағдайында геологиялық ортаны сақтау мен ұтымды пайдалану жөніндегі ғылыми ұсынымдарды әзірлеуге мүмкіндік береді. Түркістан

қаласы мен оған іргелес аумақтардың геологиялық және геоморфологиялық ерекшеліктері бұрынғы зерттеулерде ішінара сипатталғанымен, қалалық экожүйе аясындағы геоморфологиялық процестердің кешенді кеңістіктік-уақыттық бағалануы қазіргі уақытқа дейін жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Сондықтан бұл жұмыс өңірдің геологиялық дамуы мен антропогендік трансформациясын ғылыми тұрғыдан түсінуге бағытталған алғашқы кешенді зерттеулердің бірі болып табылады. Отандық әдебиетте Түркістан облысының күкіртті топырақты және суармалы жерлерін агрохимиялық бағалауға айтарлықтай көңіл бөлінеді. Мәселен, жұмыстардың көпшілігінде гумустың өте төмен құрамы байқалады: жыртылатын көкжиекте ол 2,15-тен 2,54%-ға дейін, жалпы азоттың 0,12–0,16% және жалпы фосфордың 0,17–0,20% болуы кезінде ауытқиды. Қоректік элементтердің жылжымалы түрлері де шектеулі: азот шамамен 80 мг/кг, фосфор – 26–35 мг/кг, калий – шамамен 600 мг/кг құрайды. Бұл көрсеткіштер топырақ құнарлылығының төмен деңгейін көрсетеді, бұл өңірлік бағалаулармен расталады, оған сәйкес Қазақстанның егістік жерлерінің 62%-ға дейін құрамында қарашірік аз, ал күкіртті топырақта 70%-ға дейін органикалық заттардың өте төмен деңгейімен (0,9–1,5%) сипатталады [5].

Өңірдің топырақ жамылғысының картографиялық және мониторингтік зерттеулері шаруашылық жүктеме жағдайларында топырақтың кеңістіктік біртекті еместігі мен әлсіз орнықтылығын көрсетеді. Ашық қоңыр топырақта қарашірік құрамы 1,3–2,9% шегінде өзгереді, қарашірік көкжиегінің қуаты шамамен 35–45 см құрайды, Сазды түрлер үшін қарашірік 2,5–3,5%-ға дейін тән, ал құмдақ және құмды топырақта бұл көрсеткіш 1,5–2%-ға дейін төмендейді. Бұл деректер өңірдің топырақ жамылғысының әлеуеті шектеулі екенін және қолдау шараларын талап ететінін растайды. Зерттеулердің едәуір бөлігі техногендік ластану проблемасына арналған. Отандық және шетелдік басылымдарда тау-кен өндіру және металлургия кәсіпорындарының әсер ету аймағында, әсіресе Кентау қаласында және көлік артериялары бойында ауыр металдардың (*Pb, Zn, Cu, Cd, Mo, As*) жиналуы тіркеледі. Түркістан қаласының ортасы үшін бұл автокөлік жүктемесінің өсуін ескере отырып, тікелей мәнге ие. Қазіргі заманғы талдау әдістерін пайдаланатын шетелдік зерттеулер өңірдің топырағы элементтердің кең спектрін жинақтайтынын, ал ауыр металдардың шоғырлануы көбінесе фондық мәндерден асып түсетінін көрсетеді. Алайда Түркістан аумағының өзі, соның ішінде тұрғын үй орамдары, жолдар мен жасыл аймақтар бойынша жүйеленген деректер әзірге жоқ.

Климаттық және геоморфологиялық факторлар Түркістан аумағындағы өзгерістердің күрделене түсуіне ықпал етеді. Түркістан өңіріне тән аридті климат жағдайында жазы өте ыстық (шілде айының орташа температурасы +28,7°C), ал қысы салыстырмалы түрде жұмсақ (-3,1°C). 2001–2024 жылдар аралығындағы орташа жылдық температура +13,8°C шамасында болып, оның тұрақты түрде өсу үрдісі байқалады. Мұндай температуралық динамика геоморфологиялық процестердің – жерасты сулары деңгейінің төмендеуі, эрозиялық және денудациялық процестердің белсенділенуі, топырақ-жер бедерінің тұрақсыздануы сияқты құбылыстардың күшеюіне әкеледі. Ылғал

тапшылығы мен жоғары температураның үйлесуі топырақтағы ылғал айналымын бұзып, дефляциялық және дегумификациялық процестерді жеделдетеді. Нәтижесінде беткі қабаттағы борпылдақ шөгінділердің бекінуі әлсіреп, желдік және су эрозиясы белең алады. Бұл, өз кезегінде, Түркістан қаласының геоморфологиялық құрылымының қайта қалыптасуына, микрорельефтің өзгеруіне және урбанизация жағдайында топырақ-грунт жамылғысының тұрақтылығын төмендетуге әсер етеді.

Отандық және шетелдік әдебиеттерге жасалған талдау Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық жүйесінің антропогендік және климаттық факторлардың бірлескен әсеріне осал екенін көрсетеді. Соңғы онжылдықтарда қала аумағында урбанизация үдерістерінің қарқынды дамуы жер бедерінің табиғи құрылымын бұзып, техногендік морфо-жүйелердің қалыптасуына әкелді. Құрылыс, жол инфрақұрылымы мен инженерлік жүйелердің кеңеюі нәтижесінде табиғи дренаждық желілер өзгеріп, беткі және жерасты сулардың таралу сипаты бұзылды. Отандық зерттеулерде урбанизацияның геоморфологиялық салдарларына – жердің техногендік отыруы, үйінді және карьер шұңқырларының пайда болуы, топырақ-грунт қабаттарының тығыздалуы және эрозиялық процестердің күшеюі сияқты факторларға ерекше назар аударылады. Қазақстандық ғалымдардың еңбектерінде соңғы жиырма жыл ішінде Түркістан облысындағы урбандалған аумақтардың көлемі 35%-дан астам ұлғайғаны, бұл табиғи ландшафттардың деградациясына және геоморфологиялық тұрақсыздықтың артуына алып келгені атап өтіледі. Көліктік және өндірістік шығарындылардың тұрақты өсуі де геологиялық ортаға қосымша жүктеме түсіреді. Егер 2005 жылы атмосфераға шығарылған зиянды заттардың көлемі 45 мың тоннаны құраса, 2020 жылы ол 73 мың тоннадан асып түсті. Бұл факторлар жердің беткі қабатының химиялық құрамына әсер етіп қана қоймай, топырақ-грунт жүйесінің физикалық қасиеттерін өзгертіп, су-физикалық тепе-теңдікті бұзады және урбанизацияланған аумақтардағы геоморфологиялық процестердің белсенділенуіне себепші болады [6].

Шетелдік зерттеулер антропогендік және климаттық факторлардың өзара байланысын ескере отырып, аридті аймақтардағы геологиялық және геоморфологиялық жүйелерді зерттеудің интеграцияланған тәсілін ерекше маңызды деп көрсетеді. Ғалымдар табиғи бедердің тұрақтылығы мен литогендік негіздің (жер қыртысының жоғарғы қабаттарының) өзгергіштігі климаттық үрдістермен тығыз байланысты екенін атап өтеді. Ғылыми деректеріне сәйкес, соңғы он жыл ішінде Орталық Азияда орташа жылдық температура 0,3–0,4°C-қа тұрақты өсіп келеді, ал 2000-жылдардан бері ылғалмен қамтамасыз етілу деңгейі 15–20%-ға төмендеген. Бұл аймақтық климаттық өзгерістер Түркістан өңірінің геоморфологиялық дамуына тікелей ықпал етеді. Қала маңындағы метеостанция мәліметтері бойынша, жазғы кезеңде орташа температура 1990-жылдардағы +34°C-тан 2020-жылдары +37,2°C-қа дейін көтерілген, ал жауын-шашын мөлшері жылына 220 мм-ден 180 мм-ге дейін азайған. Мұндай үрдіс аридизацияны күшейтіп, дефляция мен эрозиялық процестердің белсенділігін арттырады, нәтижесінде эолдық бедер түр-

лерінің үлесі ұлғайып келеді. Сонымен қатар, жерасты сулар деңгейінің төмендеуі мен беткі ағынның әлсіреуі морфогендік тепе-теңдікті бұзады, техногендік және табиғи шөгінділердің қайта жылжуына себеп болады. Мұндай геологиялық-геоморфологиялық трансформациялар Иран, Өзбекстан және Түрікменстанның урбандалған аймақтарында да тіркеліп отыр. Бұл елдердегі шетелдік зерттеулердің нәтижелері бойынша, аридті климат жағдайында температураның өсуі мен жауын-шашынның азаюы тек топырақ дегумификациясын ғана емес, сонымен бірге геоморфологиялық тұрақсыздықтың (жердің отыруы, шөгу, карст процестері) үдеуін туындатады [7].

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысаны Қазақстанның оңтүстік бөлігінде орналасқан, аридті климаттық жағдайларымен, урбандалудың жоғары деңгейімен және антропогендік жүктеменің артуымен сипатталатын Түркістан қаласының аумағындағы геологиялық және геоморфологиялық жүйелер. Зерттеу аймағының табиғи-геологиялық негізі неоген және төрттік кезең шөгінділерінен құралған, олар өз кезегінде дефляция, су эрозиясы және техногендік қайта түзілу процестеріне ұшырап отыр. Бұл факторлар бедердің тұрақсыздығын арттырып, литогендік қабаттар мен топырақ-жер жамылғысының морфологиялық құрылымына кешенді әсер етеді. Зерттеу нысанын тандауда урбанизациялық даму аймақтары мен табиғи геоморфологиялық элементтер (аллювийлік жазықтар, пролювийлік шлейфтер, ежелгі өзен арналары) қамтылды. Дала жұмыстарында морфогенетикалық ерекшеліктер мен техногендік қайта түзілу аймақтарын ескере отырып, әртүрлі геоморфологиялық позициялардан сынамалар алынды. Бұл тәсіл Түркістан қаласының геологиялық-геоморфологиялық құрылымындағы антропогендік және климаттық факторлардың әсерін кеңістіктік тұрғыдан кешенді бағалауға мүмкіндік берді [8].

Топырақтың жай-күйін талдау үшін әдістер кешені қолданылды. Геоэкологиялық талдау топырақ жамылғысын 1:25 000 масштабтағы топографиялық және тақырыптық карталармен, сондай-ақ спутниктік суреттермен салыстыру жолымен жүзеге асырылды, бұл тозу, тұздану аймақтарын және урбандалған учаскелерді бөліп көрсетуге мүмкіндік берді. Химиялық талдау мемлекеттік стандарттардың талаптарына сәйкес жүргізілді: МЕМСТ 17.4.4.02-2017 топырақ үлгілерін алу, МЕМСТ 26213-91 бойынша гумусты анықтау, МЕМСТ 17319-2019 бойынша ауыр металдардың құрамын анықтау (*Pb*, *Zn*, *Cu*, *Cd*), МЕМСТ 33850-2016 бойынша макроэлементтерді анықтау (*N*, *P*, *K*). Қосымша электр өткізгіштігі мен тұздану дәрежесі айқындалды, бұл аридті климат үшін маңызды. Талдауға орташа жылдық ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері, қарашірік құрамы және топырақтың тұздану дәрежесі сияқты көрсеткіштер енгізілді, бұл антропогендік және климаттық факторлардың әсерінен ұзақ мерзімді өзгерістерді қадағалауға мүмкіндік берді. Әдістеменің маңызды элементі халықаралық тәжірибені пайдалану болды [9, 10]. Салыстырмалы талдау Қазақстан және Өзбекстанның деградациялық процестердің жалпы заңдылықтарын анықтауға және Түркістанда байқалатын үрдістерді халықаралық аналогтармен байланыстыруға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері

Жүргізілген зерттеулер Түркістан қаласының топырақ жамылғысының жай-күйінде соңғы онжылдықтардың антропогендік әсерімен де, климаттық өзгерістерімен де байланысты бірқатар елеулі өзгерістерді анықтауға мүмкіндік берді. Қала аумағындағы топырақтың негізгі физика-химиялық қасиеттерін бағалау олардың құнарлық деңгейін, құрылымдық ерекшеліктерін және урбанизация жағдайында экологиялық тұрақтылығын анықтауға мүмкіндік береді. Түркістан қаласы бойынша алынған орташа деректер төмендегі 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1

Түркістан қаласының топырақтарының физика-химиялық қасиеттері (орташа мәндер, 2023 ж.)

Table 1

Physico-chemical properties of soils of the city of Turkestan (average values, 2023)

Таблица 1

Физико-химические свойства почв. города Туркестан (средние значения, 2023 г.)

Зерттеу аймақтары	pH	Гумус, %	Тығыздық, г/см ³	Су өткізгіштік, мм/сағ
Тұрғын аймақтар	7,6	1,1	1,35	20
Өндірістік аймақтар	7,9	0,9	1,42	15
Рекреациялық аймақтар	7,4	1,2	1,30	28
Көлік тораптары	8,2	0,8	1,45	12

Кестеден көрініп тұрғандай, Түркістан қаласының топырақтары негізінен әлсіз сілтілі реакцияға (pH 7,4–8,2) ие. Гумус мөлшері төмен (0,8–1,2%) болып, бұл құнарлықтың жеткіліксіздігін көрсетеді. Топырақ тығыздығы өндірістік және көлік аймақтарында жоғары, ал су өткізгіштік деңгейі ең төменгі мәнге дейін түсіп отыр. Бұл жағдайлар урбанизация мен климаттық факторлардың топырақтың экологиялық тұрақтылығына теріс әсерін дәлелдейді.

Түркістан қаласының әртүрлі функционалдық аймақтарындағы топырақтың ауыр металдармен ластану деңгейі урбанизациялық қысымның басты көрсеткіштерінің бірі болып табылады. Қорғасын (*Pb*), мырыш (*Zn*), мыс (*Cu*) және кадмий (*Cd*) секілді элементтердің мөлшерін бағалау топырақ сапасына және экожүйелік қауіпсіздікке әсерін анықтауға мүмкіндік береді. 2023 жылғы орташа көрсеткіштер 2-кестеде берілген.

Кестедегі мәліметтерге сүйенсек, көлік тораптары мен өндірістік аймақтарда ауыр металдардың мөлшері ең жоғары деңгейде байқалады. Қорғасын көрсеткіштері ШРК-дан 3–4 есе, мырыш – 2 есеге дейін асып түскен. Кадмий концентрациясы да тұрғындар денсаулығына қауіпті шектен жоғары. Бұл деректер қаланың индустриалдық және көліктік жүктемесі топырақ сапасына елеулі әсер ететінін дәлелдейді және экожүйелік тәуекелдерді төмендету үшін тұрақты мониторинг жүргізу қажеттігін көрсетеді.

Кесте 2

Түркістан қаласының топырақтарындағы ауыр металдардың мөлшері, мг/кг (2023 ж.)

Table 2

The content of heavy metals in the soils of Turkestan, mg/kg (2023)

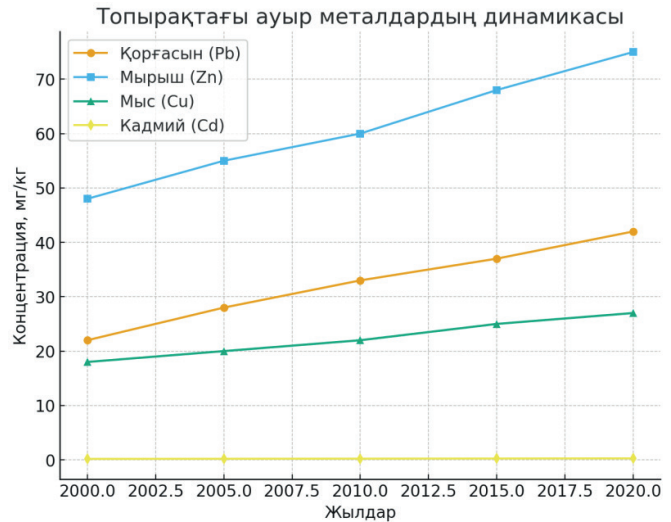
Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почвах города Туркестан, мг/кг (2023 г.)

Зона	Pb	Zn	Cu	Cd
Тұрғын аймақтар	28	80	28	0,5
Өндірістік аймақтар	46	150	58	1,2
Рекреациялық аймақтар	21	60	22	0,3
Көлік тораптары	74	135	64	1,5
ШПК (Қазақстан)	32	100	55	0,7

Химиялық құрамды талдау топырақтың жоғарғы қабаттарында (0–20 см) ауыр металдардың жиналуына тұрақты үрдіс көрсетті. Көлік магистральдарының жанындағы **Pb** және **Zn** шоғырлануы қарқынды урбанизация аймағынан алыс бақылау учаскелерімен салыстырғанда фондық мәндерден 1,8–2,3 есе, **Cu** – 1,5 есе, ал **Cd** – 2 есе асады. Деректер көлік ағынының қарқындылығы мен топырақтың ауыр металдармен ластану дәрежесі арасындағы тікелей тәуелділікті көрсетеді. Сонымен қатар қышқылдылықтың өзгеруі байқалды: егер 2000 жылдардың басында егістік көкжиектегі рН орташа мәні 7,3–7,5 (әлсіз сілтілік реакция) болса, 2020 жылдары ол 6,8–7,0 дейін төмендеді, бұл органикалық қалдықтар мен өнеркәсіптік шығарындылардың жинақталуы салдарынан қышқылданудың біртіндеп үрдісі туралы куәландырады. Қаланың өндірістік аймақтары мен көлік желілері маңындағы топырақтарда ауыр металдардың жиналу үрдісі анық байқалады. Бұл фактор қалалық экожүйенің экологиялық тұрақтылығына елеулі қауіп төндіреді (сурет 1).

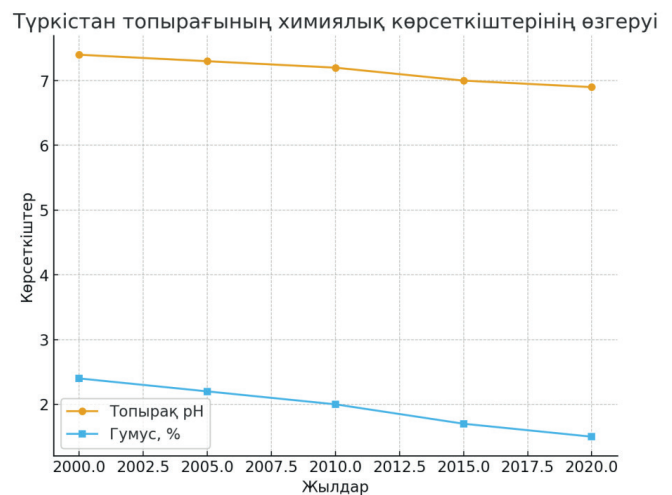
2000 жылдан 2024 жылға дейін **Pb** мөлшері шамамен 22 мг/кг-дан 42 мг/кг-ға дейін артқан, **Zn** – 48-ден 75 мг/кг-ға, **Cu** – 18-ден 27 мг/кг-ға өскен. **Cd** көрсеткіші де 0,18 мг/кг-дан 0,28 мг/кг-ға дейін көтерілген. Бұл үрдіс транспорттық ағындардың артуымен және өнеркәсіптік шығарындылармен тікелей байланысты. Гумустық пішінге урбанизацияның әсері органикалық көкжиектің тозуынан және гумустың азаюынан көрінеді. 2000 жылдан 2024 жылға дейінгі кезеңде қаланың орталық бөлігіндегі топырақта қарашірік шоғырлануы 2,2–2,5%-дан 1,4–1,6%-ға дейін төмендеді, ал шеткері аумақтарда көрсеткіштер 1,8–2,0% деңгейінде сақталды. Бұл неғұрлым қарқынды өзгерістер құрылыстың тығыздығы мен көлік жүктемесі жоғары аудандарда болып отырғанын, онда топырақтың тығыздалуы мен органикалық қалдықтардың түсуі қысқартатынын растайды. Түркістанның топырақ жамылғысында тозу үдерістерінің бірі сортаңдану болып табылады. Топырақ ерітіндісінің орташа электр өткізгіштігі соңғы жиырма жылда 1,6 есеге жуық өскені анықталды, бұл минералданудың өскенін көрсетеді. Тұзданудың ең жоғары дәрежесі рельефтің төмен элементте-



Сурет 1. Түркістан топырағындағы ауыр металдар динамика (Pb, Zn, Cu, Cd).

Figure 1. Of heavy metals in the soil of Turkestan dynamics (Pb, Zn, Cu, Cd).

Рис. 1. Динамика содержания тяжелых металлов в почве Туркестана (Pb, Zn, Cu, Cd).



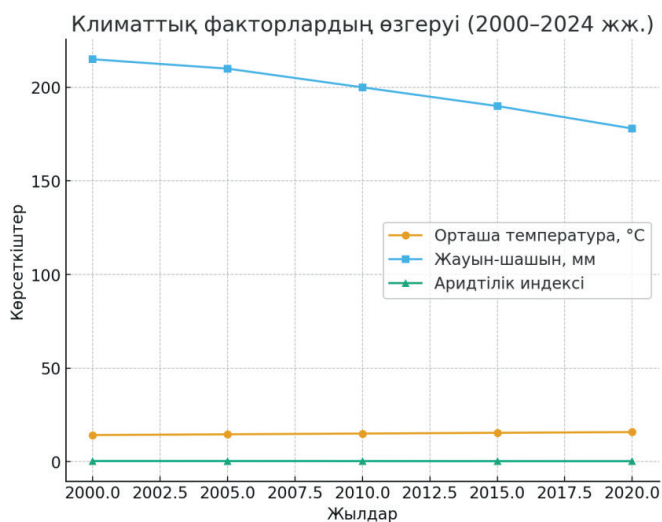
Сурет 2. Түркістан топырағының рН және гумус динамикасы (2000–2024 жж.).

Figure 2. pH and humus of Turkestan soil dynamics (2000–2024).

Рис. 2. Динамика рН и гумуса почвы Туркестана (2000–2024 гг.).

рінде және хлоридтер мен сульфаттардың шоғырлануы 0,25–0,35%-ға жететін тұрақсыз дренаждық аудандарда тіркеледі. Сонымен қатар, органикалық заттар қорының қысқаруынан және топырақ құрылымының нашарлауынан көрінетін дегумификация процестері байқалады, бұл оның эрозияға ұшырауын күшейтеді. Соңғы екі онжылдықта Түркістан қаласының топырақ жамылғысында гумустың төмендеуі мен реакция ортасының өзгеруі байқалады. Бұл урбанизациялық қысым мен климаттық факторлардың өзара әсерінен туындаған деградациялық үрдістердің бір көрінісі болып табылады (сурет 2).

2-ші суреттен көрініп тұрғандай, гумус мөлшері 2000 жылы орта есеппен 2,4% болса, 2024 жылға қарай 1,5%-ға дейін төмендеген. Топырақтың рН көрсеткіші 7,4-тен 6,9-ға дейін азайып, әлсіз сілтілі реакциядан бейтарапқа ауысқан. Бұл өзгерістер органикалық қалдықтардың азаюымен және антропогендік факторлардың күшеюімен байланысты. Климаттық факторларды салыстырмалы талдау топырақ жамылғысының жай-күйіне аридизацияның елеулі ықпалын растады. Түркістанда соңғы екі онжылдықта орташа жылдық ауа температурасы 14,2°C-тан (2000–2005 жж.) 15,8°C-қа (2020–2024 жж.) дейін өсті, ал жауын-шашынның орташа мөлшері 215 мм-ден 178 мм-ге дейін қысқарды. Тиісінше, аридтілік индексі (жауын-шашынның әлеуетті булануға қатынасы) 0,32-ден 0,26-ға дейін төмендеді, бұл климаттық құрғақтықтың өсуін және топырақтағы ылғал тапшылығының күшеюін көрсетеді. Бұл өзгерістер тұздану және дегумификация процестерінің жедел дамуына себепші болады, сондай-ақ топырақ жамылғысының қалпына келтіру әлеуетін шектейді. Климаттық жағдайлар топырақ жүйесінің деградациясына тікелей әсер етеді. Түркістан қаласында соңғы 20 жылда климаттың аридизация үрдісі айқын байқалады (сурет 3).



Сурет 3. Түркістан қаласының климаттық факторларының өзгеруі (2000–2024 жж.).

Рис. 3. Изменение факторов климата города Туркестана (2000–2024 гг.).

Figure 3. Climate of the city of Turkestan change of factors (2000–2024).

3-ші сурет бойынша орташа жылдық температура 14,2°C-тан 15,8°C-қа дейін көтерілген, ал жауын-шашын мөлшері 215 мм-ден 178 мм-ге дейін қысқарған. Аридтілік индексі 0,32-ден 0,26-ға төмендеп, аймақтағы құрғақтықтың күшейгенін дәлелдейді. Бұл факторлар топырақтағы гумустың азаюын, тұзданудың күшеюін және дегумификация үрдістерін жеделдетеді. Деградациялық процестерді картаға түсіру топырақ өзгерістерінің кеңістіктік бөлінуін көзбен шолуға мүмкіндік берді. Салынған схемалар ең тозған топырақтың қаланың орталық, темір жол торабының бөлігінде және негізгі көлік магистральдарының бойында орналасқанын көрсетті, онда ауыр металдардың

жоғары шоғырлануы, топырақ профилінің тығыздалуы және гумустың төмен құрамы байқалады. Ауылшаруашылығы кеңінен жайылған учаскелерде негізгі проблемалар тұздану және ылғалдың жоғалуы болып калуда, ал ауыр металдармен ластану көрсеткіштері салыстырмалы түрде төмен.

Талқылаулар

Зерттеу нәтижелері Түркістан қаласының геологиялық және геоморфологиялық жүйелерінде антропогендік және климаттық факторлардың айқын ықпал ететінін көрсетті. Қала аумағындағы қарқынды урбанизация мен техногендік жүктемелер жер бедерінің табиғи тепе-теңдігін бұзып, литогендік негіздің қайта құрылуына және геоморфологиялық процестердің жеделдеуіне алып келуде. Нәтижесінде қаланың орталық және өндірістік аймақтарында топырақ-жер қабатының құрылымдық беріктігі төмендеп, физикалық тығыздалу байқалады (орташа 1,35–1,45 г/см³), бұл техногендік шөгінділердің жиналуымен және жер бетінің су өткізгіштігінің төмендеуімен түсіндіріледі. Морфологиялық талдау Түркістанның урбандалған бөліктерінде аккумулятивтік және техногендік шөгінділердің үстем екенін көрсетті. Қала орталығы мен өндірістік аймақтар маңында ауыр металдар – қорғасын, мырыш және мыс - жиналу аймақтары анықталды, бұл геохимиялық фонның өзгеруіне және техногендік ластану шоғырларының қалыптасуына әкелген. Бұл элементтердің жиналуы бедердің микродепрессиялық формаларында, әсіресе көлік магистральдары бойында және өндіріс қалдықтары төгілетін аймақтарда шоғырланған. Мұндай геохимиялық аномалиялар топырақ жамылғысының экологиялық тұрақтылығын төмендетіп қана қоймай, өсімдік жамылғысының деградациясын және беткі қабаттың дефляциялық тұрақсыздығын арттырады. Климаттық факторлар да геоморфологиялық процестерге елеулі әсер етеді. Жауын-шашын мөлшерінің азаюы мен орташа температураның көтерілуі (соңғы жылдары +1,2-1,4°C өсім) топырақ қабатындағы ылғал тапшылығын күшейтіп, аридизация мен дефляциялық эрозияны белсенді етеді. Бұл өз кезегінде құмды және шанды материалдардың қайта орын ауыстыруына, беткі бедердің тегістелуіне және микроойыстардың кеңеюіне әкеледі.

Картографиялық талдау нәтижелері бойынша, деградацияланған және геоморфологиялық тұрғыдан тұрақсыз аймақтар көбіне көлік магистральдары бойында, өндіріс орындары мен құрылыс белсенді жүретін учаскелерде орналасқан. Ал қаланың шеткі бөліктерінде тұздану, сорлану және ылғал тапшылығынан туындайтын геохимиялық-морфологиялық өзгерістер басым. Осылайша, Түркістан қаласының геологиялық-геоморфологиялық жүйесінде екі өзара байланысты деградациялық үрдіс қатар жүруде: антропогендік-техногендік қайта түзілу – урбанизация, көлік және өндіріс әсерінен; табиғи-климаттық аридизация – жоғары температура, төмен ылғалдылық және дефляция нәтижесінде. Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері Түркістан қаласының геологиялық-геоморфологиялық кешені климаттық және антропогендік өзгерістерге айтарлықтай сезімтал екенін дәлелдеді. Бұл жағдай бедер мен литогендік қабаттың мониторингін жүйелі түрде жүргізу-

ді, рекультивациялық шараларды және инженерлік-геологиялық тұрақтандыру тәсілдерін енгізуді талап етеді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері Түркістан қаласы аумағында геологиялық және геоморфологиялық құрылымдардың климаттық және антропогендік факторлардың әсерінен айтарлықтай трансформацияға ұшырап отырғанын көрсетті. Геоморфологиялық талдау жер бедерінің тегістелуі, делювиальды және эолдық үрдістердің күшеюі, сондай-ақ техногендік денудацияның артуы сияқты құбылыстардың кең таралғанын анықтады. Геологиялық тұрғыда топырақ пен шөгінді қабаттардың тығыздалуы, құрылымдық жарықтардың белсенуі және литогендік құрамның өзгеруі байқалды. Бұл өзгерістер қаланың гидрогеологиялық режиміне, жерасты суларының айналымына және беткі эрозиялық процестердің қарқындылығына тікелей әсер етуде. Климаттың аридизациясы мен температура-

ның жоғарылауы морфогенетикалық процестердің сипатын өзгертіп, дефляция мен карбонаттану аймақтарын кеңейтті. Урбанизация және инженерлік құрылыстардың қарқынды дамуы табиғи геоморфологиялық тепе-теңдікті бұзып, антропогендік бедер формаларының (жасанды үйінділер, карьерлер, жолдық террасалар) қалыптасуына әкелді. Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша Түркістан өңірінде геологиялық-геоморфологиялық өзгерістердің кешенді сипаты анықталып, олардың климаттық факторлармен өзара байланысы ғылыми негізделді. Бұл нәтижелер аймақтың экологиялық қауіпсіздігін бағалауда, жер ресурстарын жоспарлауда және геоэкологиялық мониторинг жүйесін жетілдіруде маңызды ақпараттық база ретінде қолданылуы мүмкін. Алынған деректер аймақтың геоэкологиялық тұрақтылығын арттыру, инженерлік инфрақұрылымды экологиялық қауіпсіз жоспарлау және жер бедерін қорғау стратегияларын әзірлеуге негіз болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Орталық Азиядағы урбандалу және топырақтың ластануы: Қазақстан мысалы / Жолдасова И. [және т. б.] // Қоршаған ортаны басқару журналы. 2022. № 313. Б. 114–129 (ағылшын тілінде)
2. Ахмедсафин У.М. Оңтүстік Қазақстанның гидрологиялық жағдайлары: Алматы: Ғылым, 1972. 250 б. (орыс тілінде)
3. Бейсенова А.С., Жангисина А.Ж., Мусина Л.А. Қазақстанның экологиялық мәселелері: Алматы: Қазақ университеті, 2019. 320 б. (орыс тілінде)
4. Климаттық шолу: Оңтүстік Қазақстан / «Қазгидромет» РМК: Алматы, 2024. 35 б. (қазақ тілінде)
5. Аллоуэй Б.Ж. Топырақтағы ауыр металдар: іздік металдар мен металлоидтардың топырақтағы биожетімділігі // Спрингер. 2013. 614 б. (ағылшын тілінде)
6. Краул П.Ж. Қалалық топырақтар: қолданбалар және тәжірибелер // Уайли, 1999. 384 б. (ағылшын тілінде)
7. Топырақ бойынша жаһандық серіктестік: жылдық есеп / БҰҰ Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы (FAO): Рим, 2020. 50 б. (ағылшын тілінде)
8. Лаппо Г.М. Урбандалу және қалалардың экологиясы: Мәскеу: Академкнига, 2015. 276 б. (орыс тілінде)
9. Климаттың өзгеруі және Орталық Азия: қалалық дамудың сын-қатерлері: есеп / Дүниежүзілік банк: Вашингтон, 2022. 60 б. (ағылшын тілінде)
10. Оңтүстік Қазақстандағы өнеркәсіптік аймақтардың топырақтарында ауыр металдардың жиналуы / Қалдыбаев А. [және т. б.] // Қоршаған ортаны бақылау және бағалау. 2019. № 11. Б. 687 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Urbanization and soil pollution in Central Asia: Case study of Kazakhstan / Zholdasova I. [et al.] // Journal of Environmental Management. 2022. No. 313. 114–129 pp. (in English)
2. Akhmedsafin U.M. Gidrogeologicheskie usloviya Yuzhnogo Kazakhstana [Hydrogeological conditions of Southern Kazakhstan]. Almaty: Nauka, 1972. 250 p. (in Russian)
3. Beisenova A.S., Zhangissina A.Zh., Musina L.A. Ekologicheskie problemy Kazakhstana [Environmental problems of Kazakhstan]. Almaty: Kazakhskii universitet, 2019. 320 p. (in Russian)
4. Klimaticheskii obzor Yuzhnogo Kazakhstana [Climate review of Southern Kazakhstan], RGP «Kazgidromet» [Kazhydromet]. Almaty, 2024. 35 p. (in Russian)
5. Alloway B.J. Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability // Springer. 2013. 614 p. (in English)
6. Craul P.J. Urban soils: Applications and practices // Wiley. 1999. 384 p. (in English)
7. Global Soil Partnership: Annual Report / Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, 2020. 50 p. (in English)
8. Lappo G.M. Urbanizatsiya i ekologiya gorodov [Urbanization and ecology of cities]. Moscow: Akademkniga, 2015. 276 p. (in Russian)

9. *Climate Change and Central Asia: Challenges for Urban Development: Report / World Bank: Washington, 2022. 60 p. (in English)*
10. *Heavy metal accumulation in soils of industrial areas in Southern Kazakhstan / Kaldybayev A. [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. 2019. No. 11. 687 p. (in English)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Урбанизация и загрязнение почв в Центральной Азии: пример Казахстана / Жолдасова И. [и др.] // Журнал управления окружающей средой. 2022. № 313. С. 114–129 (на английском языке)*
2. *Ахмедсафин У.М. Гидрогеологические условия Южного Казахстана: Алматы: Наука, 1972. 250 с. (на русском языке)*
3. *Бейсенова А.С., Жангисина А.Ж., Мусина Л.А. Экологические проблемы Казахстана: Алматы: Казахский университет, 2019. 320 с. (на русском языке)*
4. *Климатический обзор Южного Казахстана / РГП «Казгидромет»: Алматы, 2024. 35 с. (на русском языке)*
5. *Аллоуэй Б.Ж. Тяжелые металлы в почвах: микроэлементы и металлоиды в почвах и их биодоступность // Спрингер. 2013. С. 614 (на английском языке)*
6. *Краул П.Ж. Городские почвы: применение и практика // Уайли. 1999. С. 384 (на английском языке)*
7. *Глобальное партнерство по почвам: годовой отчет / Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО): Рим, 2020. 50 с. (на английском языке)*
8. *Лаппо Г.М. Урбанизация и экология городов: М.: Академкнига, 2015. 276 с. (на русском языке)*
9. *Изменение климата и Центральная Азия: вызовы для городского развития: отчет / Всемирный банк: Вашингтон, 2022. 60 с. (на английском языке)*
10. *Накопление тяжелых металлов в почвах промышленных районов Южного Казахстана / Калдыбаев А. [и др.] // Мониторинг и оценка окружающей среды. 2019. № 11. С. 687 (на английском языке)*

Авторлар туралы мәліметтер:

Әбдімүтәліп Н., доцент, Ph.D, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің профессор м.а. (Түркістан қ., Қазақстан), nurlibek.abdimutalip@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-1173-4344>

Құралбай Ә., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің Экология және химия кафедрасының магистранты (Түркістан қ., Қазақстан), aliya.kuralbay@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0007-9253-3777>

Тойчибекова Ф., доцент, Ph.D, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті (Түркістан қ., Қазақстан), gaziza.toychibekova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-3575-3021>

Еримова А., Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Биология кафедрасының аға оқытушысы (Түркістан қ., Қазақстан), Aknur.erimova@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1989-8194>

Information about the authors:

Abdimutalip N., Associate Professor, Ph.D, Acting professor at Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Kuralbai A., Master's student at the Department of Ecology and Chemistry of the Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Toychibekova G., Associate Professor, Ph.D, Senior lecturer at the Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Yerimova A., Senior Lecturer of the Department of Biology, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Абдимуталип Н., доцент, Ph.D, и.о. профессора Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Құралбай А., магистрант кафедры «Экология и химия» Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Тойчибекова Г., доцент, Ph.D, ст. преподаватель Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Еримова А., ст. преподаватель кафедры биологии Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

T

Тимченкодан
Маркетинг

Маркетингтік
нигилизм
агенттігі

+7 705 818 40-65
communication@stimchenko.com
www.stimchenko.kz

S

Каждая фабрика, каждый ГОК Делаем вместе НОВЫЙ ВИТОК

Маркетинг для
производственных
предприятий
вместе с нами

- Презентация предприятия
- Повышение инвестиционной привлекательности
- Популяризация рабочих профессий
- Привлечение квалифицированных кадров
- Продвижение продукции и услуг

Стратегия | Дизайн | Репутация | Отраслевые выставки | Работа со СМИ

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

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

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

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

3. Структура статьи должна содержать следующие разделы:

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

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

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

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

4. Условия приобретения журналов авторами.

С автором(ами) заключается договор о приобретении 10 (десяти) экземпляров журнала согласно установленным расценкам на текущий год, которые он(они) имеют право распространять среди горной общественности. После оплаты статья публикуется в номере журнала согласно очередности.