

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 31.03.2026 г.

Отпечатано:

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

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



Главный редактор

М.Ж. БИТИМБАЕВ, mbitimbaev@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Л.А. КРУПНИК, leonkr38@mail.ru

Заместитель гл. редактора

Х.А. ЮСУПОВ, yusupov_kh@mail.ru

Ответственный редактор

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

Редакционная коллегия:

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

Бекботаева А.А., PhD, ассоц. профессор

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

Vach K., доктор Ph.D (Чехия)

Демин В.Ф., д-р техн. наук, профессор

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

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

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

Mishra B.M., профессор (США)

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

Nikoloski A.N., профессор (Австралия)

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

Ратов Б.Т., д-р техн. наук, профессор

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

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

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

Тамбиев П.Г., канд. техн. наук

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

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

Yeneneh A.M., ассоц. профессор (Оман)

® – статья на правах рекламы

Ⓜ – информационное сообщение

✍ – статья публикуется в авторской редакции

- 3 Колонка главного редактора
- Геотехнология**
- 5 *A. Imashev, M. Ungitbayev, V. Vlasenko, E. Padurets
Stope optimizer in underground mining
- 12 *D. Baimolda, S. Lennik, N. Aytan, E.R. Khalikova
Study of chemical elements in the composition of the Shubarkol coal by X-ray fluorescence method
- Геомеханика**
- 17 A.K. Матаев, *А.М. Хамзе, Ж.О. Садық, А.А. Қайырбек
Геомеханическое обоснование параметров буровзрывных работ в тектонически нарушенных зонах подземных выработок
- Геодезия**
- 25 Г.Н. Махметова, *Ж. Бимурат, А.А. Балтиева, С. Гребби
Пространственный анализ наблюдательной геодезической сети Кентау с использованием геоинформационных технологий
- 32 *Н.С. Доненбаева, Н.А. Турсынбаев, М.Б. Иземберлина, Д.А. Жумабекова
Жерді қашықтықтан зондтау деректері бойынша Құлсары қаласындағы су тасқынынң динамикалық өзгерісін мониторингтеу
- 39 Т.Б. Нурпеисова, *Г.С. Мадимарова, Н.А. Милетенко, Ж.Е. Мадимаров
Геодезический мониторинг за деформациями многоэтажных зданий в зоне влияния метрополитена
- Горные машины**
- 46 *А.Е. Гольберт
Горная механика: новая интерпретация старого термина
- Обогащение полезных ископаемых**
- 54 Т. Kutukova, G. Nurshaiykova, *A. Akyibaeva, T. Malgazhdarov
Principles of quality uniformity stabilization of multi-grade ores in their open-pit mining
- 60 *I.T. Сандыбекова, М.Б. Барменишинова
Влияние минералогического состава руд Бозшакольского месторождения на эффективность флотации меди
- Охрана труда и безопасность в горной промышленности**
- 66 Н.Д. Спатаев, *Г.С. Саттарова, С.С. Кудрявцев, Н.М. Сулейменов
Влияние изоляции выработанного пространства лавы на состояние проветривания выемочного участка
- Геоэкология**
- 72 *D.K. Sunakbaeva, D.Kh. Yuldashbek, K.U. Aitekova, D.D. Kenzhaliyev
Chelation of heavy metals in contaminated soils of mining regions of Kazakhstan using vermicompost
- 80 Требования к оформлению и условия предоставления статей

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



**Марат
Жакупович
Битимбаев**
главный редактор

Уважаемые члены редколлегии!

Дорогие читатели!

После окончания первого квартала нового, 2026 года, можно удовлетворенно сказать, что, во-первых, мы за несколько месяцев прошли в своем государственном устройстве в связи с принятой нашим Президентом реформой Основного закона страны огромный путь к ценностям «Справедливого Казахстана». Во-вторых, ориентиры развития и основополагающие принципы деятельности государства, закреплённые в четком перечне в содержании Новой Конституции страны, получили полную поддержку народа на прошедшем Референдуме.

Если кратко изложить содержание и суть документа, определившего статус Президента и парламента, права граждан, свободу слова, образование, собственность и цифровые права, мы будем жить и творить в государстве, действующего в открытом и подотчетном народе государстве.

В середине февраля Касым-Жомарт Кемелевич в ходе расширенного заседания правительства, подводя итоги социально-экономического развития страны, конкретно обозначил стратегические задачи на 2026 год.

Важнейшей задачей Правительства установлен запуск нового инвестиционного цикла и формирование современного промышленного каркаса, что в итоге должно обеспечить выполнение главной цели социального государства – процветание страны и улучшение качества жизни казахстанцев.

Для создания условий и пространства справедливой жизнедеятельности граждан требуется усовершенствование модели устойчивого роста, в которой должен быть четко определен стратегический вектор рыночной экономики, который определяет финансовые ресурсы в ключевые сферы, обеспечивающие необходимый рост за счет повышения производительности труда и технологического обновления.

Глава государства при этом особо подчеркнул, что конечный результат экономической политики должен быть ориентирован на рост доходов граждан и укрепление экономического суверенитета.

Стратегически важными в этом контексте заявления Президента направлениями определены оборонно-промышленный комплекс, цифровизация и внедрение искусственного интеллекта как связующее звено, создание Комитета по защите прав инвесторов с персональным закреплением за каждым инвестиционным проектом надзорного прокурора.

Реализации этих амбициозных целей выглядят прогнозируемыми и выполнимыми, т. к. за ближайшие шесть лет планируется привлечь не менее 270 трлн тенге инвестиций в основной капитал и не менее 100 млрд долларов США валового притока прямых иностранных инвестиций с акцентом на несырьевые сектора экономики.

Для нас чье, мировоззрение связано в первую очередь со стабильной жизнедеятельностью горно-металлургического комплекса, важнее всего то место, которое уготовлено предприятиям, добывающим и перерабатывающим минеральное сырье недр. Думается, меры государственных органов по резкому увеличению финансовых ресурсов, направляемых на геологоразведочные работы, на создание новых предприятий по добыче и переработке, говорят сами за себя.

Наша задача – создание новых технологических решений, позволяющих геологам, горнякам, обогатителям и металлургам обеспечивать жизнеспособность, высокую экономическую эффективность, безопасность и сохранение качественной среды при освоении недр.

Инновационные решения с доказанной эффективностью

Надежные решения для процессов измельчения и дробления, основанные на экспертных знаниях в области инжиниринга, качественной технической поддержке и высоком качестве производства. Разработаны для обеспечения бесперебойной эксплуатации, повышения надежности технологического процесса и снижения эксплуатационных расходов.



Инженерные решения, которым можно доверять



Неизменное качество производства



Гарантированная стабильность эксплуатации

ME Elecmetal
Тел: +7 914 880 4545
+7 777 247 0787
+1 778 875 7525
Эл.Почта: mongolia@me-elecmetal.com

Код МРНТИ 52.31.47

*A. Imashev¹, M. Ungitbayev², V. Vlasenko³, E. Padurets³

¹*Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan),*

²*Kazakhmys Corporation LLP (Karaganda, Kazakhstan),*

³*K-MINE International Ltd (London, United Kingdom)*

STOPE OPTIMIZER IN UNDERGROUND MINING

Abstract. The article presents a method for optimizing stopes in underground mineral extraction. Based on cluster analysis of the block model, the proposed algorithm forms extraction units by accounting for both quantitative and qualitative characteristics of raw materials. A new approach is introduced to calculate the partial inclusion of geological blocks in clusters, offering greater accuracy than centroid-based methods. To optimize slope angles, the method applies the least squares technique and Mahalanobis distance, which helps reduce ore loss and dilution. The algorithm increased ore recovery by 4.3% while maintaining the target cut-off grade. Its novelty lies in precise geometric modeling of intersections and the use of variable slope angles. The approach enables more accurate planning under diverse geological conditions and improves the efficiency and profitability of mining operations.

Key words: *underground mining, mining units, cluster analysis, optimization, geometric modeling, block model.*

Кен орындарын жер астында өңдеу кезінде қазу блоктарын оңтайландыру

Аннотация. Тау-кен өндірісінде пайдалы қазбаларды жер асты әдісімен өндіру барысында алынатын өндіру блоктарын оңтайландыру әдісі ұсынылады. Алгоритм блочный модельдің кластерлік талдауы негізінде шикізаттың сапалық және сандық параметрлерін ескере отырып, өндіру блоктарын қалыптастырады. Блоктардың кластерлерге ішінара кіруін есепке алудың жаңа әдісі енгізіліп, бұл есептеулер дәлдігін центроид әдістерімен салыстырғанда арттырады. Қиғаш бұрыштарды оңтайландыру үшін ең кіші квадраттар әдісі мен Махаланобис қашықтығы қолданылады, бұл шығындар мен кеннің разубоживаниеcін азайтуға мүмкіндік береді. Ұсынылған әдіс жобалық құрамды сақтай отырып, алынатын кеннің көлемін 4,3%-ға арттырады. Ғылыми жаңалығы – геометрияны дәл модельдеу және өзгермелі бұрыштарды есепке алу. Алгоритм геологиялық-технологиялық шектеулерді ескере отырып, әртүрлі жағдайларға бейімделеді және тау-кен жұмыстарының тиімділігі мен бәсекеге қабілеттілігін арттырады.

Түйінді сөздер: *жер асты өндірісі, өндіру блоктары, кластерлік талдау, оңтайландыру, геометриялық модельдеу, блочный модель.*

Оптимизация выемочных единиц при подземной разработке месторождений

Аннотация. Представлен метод оптимизации выемочных единиц при подземной добыче полезных ископаемых. Алгоритм на основе кластерного анализа блочной модели формирует добычные блоки с учетом качественных и количественных параметров сырья. Предложен способ учета частичного вхождения блоков в кластеры, что повышает точность расчетов по сравнению с центроидами. Для оптимизации углов наклона применены метод наименьших квадратов и расстояние Махаланобиса, позволяющие минимизировать потери и разубоживание. Метод обеспечивает прирост извлекаемой руды на 4,3% при сохранении проектного содержания. Научная новизна – в точном моделировании геометрии и переменных углов. Алгоритм учитывает геолого-технологические ограничения, адаптируясь к разным условиям, и повышает рентабельность и конкурентоспособность горных работ.

Ключевые слова: *подземная разработка, выемочные единицы, кластерный анализ, оптимизация, геометрическое моделирование, блочная модель.*

Introduction

Optimizing mineral deposits is essential for enhancing the profitability of extraction operations by reducing costs and minimizing losses of valuable ore during extraction.

Contemporary methodologies for the design of mining units incorporate the use of deposit block models and algorithmic procedures for the automated determination of unit dimensions, typically implemented through specialized mining and geological software systems. This approach facilitates a comprehensive assessment of alternative development strategies for distinct deposit zones, accounting for diverse extraction methods and recovery parameters.

Automated planning and optimization in underground operations have been the focus of numerous research studies. For example, the Handbook of Operations Research in Natural Resources [1], in the chapter «Optimisation in Underground Mining», emphasizes the importance of determining cut-off grades and defining the geometry of stopes based on geological conditions to ensure optimal recovery of valuable minerals.

Similarly, in the study «Optimization of Underground Stope with Network Flow Method» [2] conducted at Polytechnique Montréal, the authors present a method for optimizing stopes, primarily tailored to vertical panel mining. However, this methodology can result in higher dilution levels in scenarios involving inclined orebodies, where other mining methods are typically used. It should be noted that the method involves complex algorithms and computations, which may require significant computational resources for its implementation.

In his dissertation «A heuristic algorithm to optimise stope boundaries», M. Atae-pour, from the University of Wollon-

gong, explores the challenge of optimizing mine geometry – particularly in underground mining – where ore extraction may incur additional costs due to the need to remove waste rock or leave behind unextracted ore [3]. The work also discusses the challenges of developing algorithms to optimize extraction boundaries in underground mining, which are recognized as a key factor in mine planning, affecting ore reserve estimation, mine life, and production schedules.

The book «Introductory Mining Engineering» by Howard L. Hartman and Jan M. Mutmanky [4] places significant emphasis on methods and processes in underground mining. The publication provides a comprehensive overview of underground mining, covering development, various extraction methods, technological advancements, and key operational aspects.

In light of the above, the objective of the present study can be formulated as the development of an algorithm for determining the optimal location, geometric parameters, and quality indicators of stopes in underground mine planning, based on the criterion of maximizing total profit [5].

To achieve this objective, the following tasks have been set and addressed according to the developed methodology:

- *dividing the deposit into elementary clusters based on feasible mining technologies;*
- *calculating the quantitative and qualitative characteristics of the ore that is located within the elementary clusters;*
- *composing a mining unit from a set of sequentially arranged clusters, ensuring compliance with specified technological conditions and quality parameters;*
- *determining the optimal dip angles of stopes with consideration for minimizing ore loss and dilution by waste rock.*

The implementation of these tasks was carried out in the K-MINE software within the Stope Optimizer module, which allowed for an assessment of the effectiveness of the proposed solutions.

Methods / Research

To achieve the stated objective, this study employed a combination of methods, including: mathematical modeling of mineral deposits using block models, cluster analysis of the deposit [6], a method for calculating the precise geometric volume of block model intersections within clusters [7], determination of the optimal cluster set within stopes, and a method for defining the optimal dip angle of stopes. The following sections provide a detailed description of these methods and their implementation using specialized software.

1. *Cluster Analysis of a Mineral Deposit.* This method involves generating a three-dimensional cluster grid within the boundaries of a geological model of a deposit or its specific section. The grid can be regular or constructed with variable spacing, depending on the operational requirements. The core principle behind constructing the cluster grid is extrusion of a predefined cluster profile along one of the orthogonal axes of the local Cartesian coordinate system. Along the remaining two axes, this profile is duplicated at fixed or variable intervals, as dictated by the mining design parameters. The shape of the cluster profile is determined by the technological requirements of underground mining and may range from a simple rectangle to a more complex contour that reflects the geometry of an actual stope. The thickness of the cluster is set significantly smaller than the profile dimensions, allowing the creation of an elementary spatial cell for subsequent analysis.

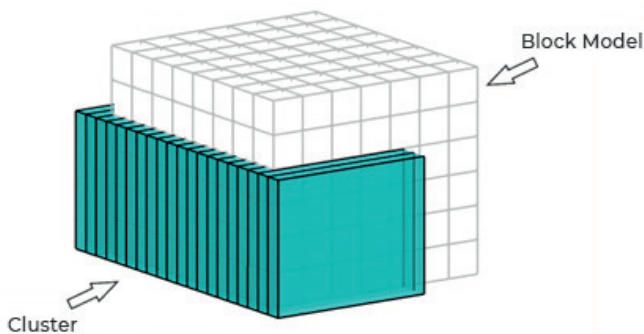


Figure 1. Cluster formation based on the deposit's block model.

Сурет 1. Кен орнының блоктық моделіне негізделген кластерлерді қалыптастыру.

Рис. 1. Формирование кластеров по блочной модели месторождения.

2. *Calculation of Cluster Parameters.* The next critical step involves the accurate determination of both the quantitative and qualitative parameters of the elementary clusters. Existing methods for calculating volumes within geological block models typically rely on evaluating only those blocks whose centroids lie inside a solid. As a result, techniques such as sub-blocking are often used to improve accuracy. However, when the dimensions of clusters and block model cells are comparable, these methods

introduce significant error in volume estimation. Therefore, a more precise method is required for calculating the intersection between block model volumes and cluster boundaries. It's important to note that the intersection between clusters and block model blocks can occur at various angles and is not always aligned with the orthogonal grid, which further complicates the calculation. This issue can be addressed using Boolean operations on solids that represent both clusters and individual blocks of the model. Nevertheless, such an approach demands substantial computational resources and becomes impractical when dealing with large numbers of clusters and high-resolution block models, as it would require intersection checks between each cluster and every block.

To overcome this challenge, the method proposed in this study estimates cluster parameters using projections of the block model edges onto the cluster surface. As a result, the volume calculation is reduced to a straightforward analytical expression without the need for complex solid geometry operations. Figure 2 illustrates this approach.

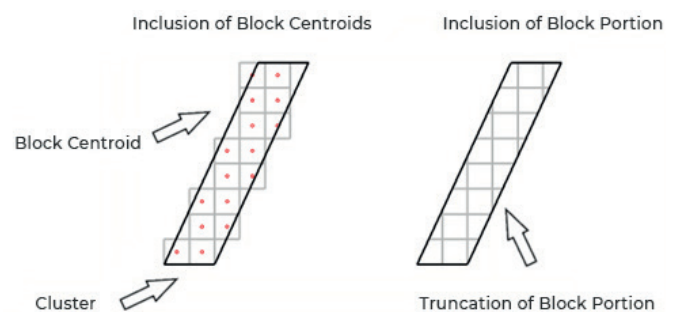


Figure 2. Calculating the partial volume of a block model cell within an elementary cluster.

Сурет 2. Блоктық модельдің бір бөлігі элементар кластерге ену көлемін анықтау.

Рис. 2. Определение объема входящего части блочной модели в элементарный кластер.

Once the volumetric indicators of the block model within the cluster have been determined, the next step is to calculate the quality parameters of the cluster based on the block model data. These calculations can be performed using various methods:

- *Weighted average by mass:*

$$X_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (1)$$

where:

x_i is the value of the quality parameter of the mineral component;

w_i is the partial weight of the block included in the cluster;

n is the number of block model cells that fall within the cluster.

- *Weighted average by volume:*

$$X_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (2)$$

where:

V_i is the partial volume of the block included in the cluster.

3. *Creation of Mining Units.* Mining units are created from a set of sequentially arranged clusters. The criteria for determining the optimal set of clusters within a stope are based on two primary conditions: maximizing the volume within a specified range, and ensuring that the average content of the target parameter does not fall below the cut-off grade.

$$\begin{cases} V_n \rightarrow \max \\ Y_n \geq \text{CutOff} \end{cases} \quad (3)$$

where:

- V_n – volume of the mining unit;
- Y_n – grade of the valuable mineral in the mining unit.

Since this task is solved for each individual set of clusters within a single projection of the mining unit profile, the option that yields the maximum recovery of valuable mineral is selected from all possible variants in that projection. The created stope shapes integrate the recalculated quantitative and qualitative indicators of the clusters they include (see Figure 3a). It should be noted that, to achieve more complete recovery of the valuable mineral, in some cases a method of constructing clusters with a specified dip angle of the orebody is applied (see Figure 3b).

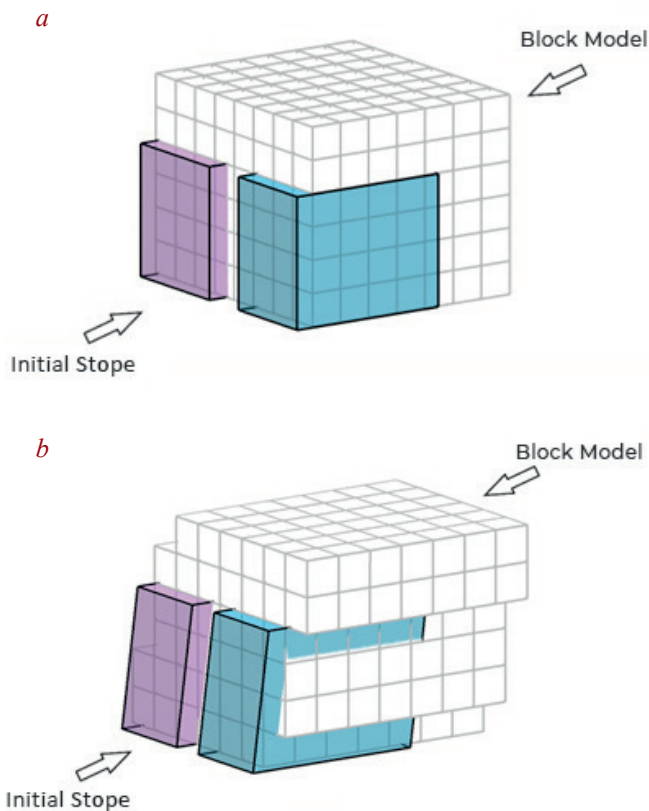


Figure 3. Creation of mining units based on groups of vertical clusters (a) and clusters considering dip angle (b).
Сурет 3. Тік кластерлер тобы (a) және қабаттың құлау бұрышы ескерілген кластерлер (b) негізінде өндіру блоктарын қалыптастыру.

Рис. 3. Формирование выемочных единиц на основе групп вертикальных кластеров (a) и кластеров с учетом угла падения (b).

4. *Optimization of Mining Unit Shape.* The initial aggregation of mining units results in determining the location and dimensions of stopes. According to the applied methodology, the strike angle and dip angle of each mining unit remain fixed, which does not always satisfy the optimal conditions for orebody extraction. Typically, the required strike and dip angles of the hanging wall are dictated by the geological contact with waste rock, as well as technological constraints during cleaning operations. Thus, a local task is to determine the dip angle of the mining unit's end face that maximizes ore recovery and improves the quality of the extracted volume.

To address this task, the following approach is applied: For each end face of the mining unit bordering waste rock, an allowable search zone for the optimal position is constructed (Figure 4a).

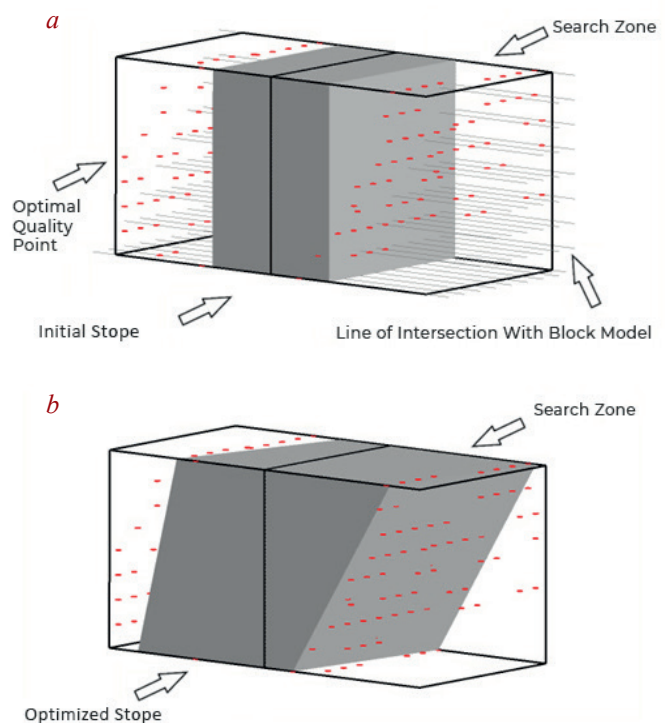


Figure 4. Optimization of the mining unit end wall.
Сурет 4. Өндіру блогының шетіндегі қабырғаны оңтайландыру.

Рис. 4. Оптимизация торцевой стенки выемочной единицы.

Within this zone, boundary points are identified where the target quality parameter meets or exceeds the cut-off grade. To eliminate outlier points from the resulting set, the Mahalanobis distance formula [9] is applied:

$$D_{m(x,\mu)} = \sqrt{(x - \mu)^T S^{-1} (x - \mu)}, \quad (4)$$

where:

- x is the vector of observed values;
- μ is the vector of mean values;
- S^{-1} is the inverse covariance matrix of the sample;
- and $(x - \mu)^T$ is the transposed difference vector.

This approach allows obtaining a set of points within the allowable displacement zone of the mining unit's end wall, which defines its optimized position. The new position of the stope face is determined using least squares approximation of a set of points within a three-dimensional task framework (Figure 4b).

Results

To evaluate the accuracy of the developed method for calculating mining unit indicators, computations were performed for benchmark panels. The results of the developed method were compared with calculations based on block centroids (Figure 5). A comparison of the volume calculation methods is presented in Table 1.

It was established that determining the partial inclusion of block model cells significantly improves the accuracy of volume and quality indicator calculations, which is an important factor in optimizing underground mining deposits, especially when developing rare-earth components.

Table 1

Mining Unit Indicator Calculations

Кесте 1

Өндіру блогының көрсеткіштерін есептеу

Таблица 1

Расчет показателей выемочной единицы

Parameter	Calculation by block centroids	Calculation with geometric block truncation
Block Size, m	5 x 5 x 5	5 x 5 x 5
Stope Size, m	25 x 30 x 25	25 x 30 x 25
Cluster thickness, m	5	5
Optimization mineral	Fe	Fe
Cut-off grade	56	56
Geometric shape volume, m ³	18750	18750
Calculated volume, m ³	18500	18750
Calculated weight, t	63710	64497
Calculated Fe , %	56.52	56.56

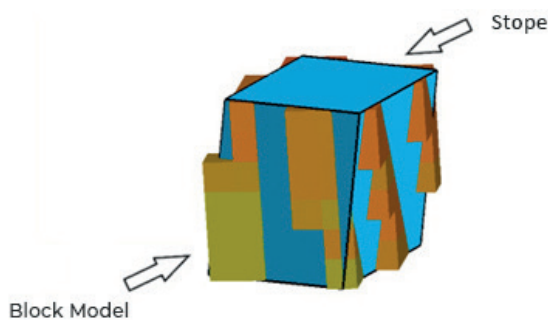


Figure 5. Block model of mineral deposit within the mining unit boundaries.

Сурет 5. Өндіру блогының шегіндегі пайдалы қазбаның блоктық моделі.

Рис. 5. Блочная модель полезного ископаемого в границах выемочной единицы.

Using an example of an underground deposit developed by a sublevel mining method, a set of aggregated stopes was constructed with fixed dip and strike angles, as well as a set of panels with subsequent adjustment of the sidewall angle for each unit by the method described above (Figure 6). The results of the parameter calculations for both creation methods are presented in Table 2.

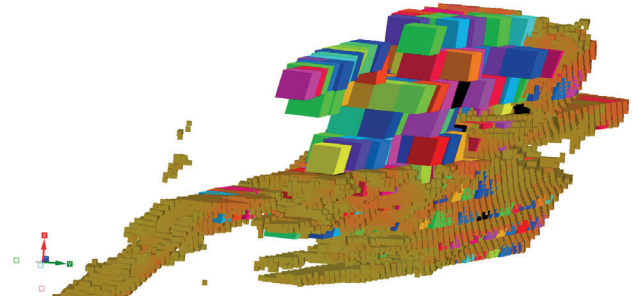


Figure 6. Optimized stopes.

Сурет 6. Оптимизацияланған панельдер.

Рис. 6. Оптимизированные выемочные единицы.

Table 2

Calculation Indicators by stopes with fixed and optimized dip angles

Кесте 2

Бекітілген және оңтайландырылған еңіс бұрыштары бойынша қазу блоктары бойынша есептеу көрсеткіштері

Таблица 2

Показатели расчета по выемочным единицам с фиксированным и оптимизированным углом наклона

Parameters	Fixed angle	Optimized angle
Number of blocks, pcs.	163971	163971
Block size, m	5 x 5 x 5	5x5x5
Cluster size, m	25 x 30	25x30
Dip angle, °	80°	Min 65° – Max 90°
Stope size, m	5	5
Shape optimization	No	Yes
Optimization mineral	Fe	Fe
Cut-off	56	56
Number of stopes	415	415
Total volume, m ³	9,390,004.12	9,791,769.14
Weight, t	32,911,025.52	34,311,118.19
Average grade, %	56.98	56.92

The analysis of the results demonstrated that the application of the proposed method, which incorporates the optimization of dip and strike angles of the mining units, led to an increase in the total extracted ore volume – by 4.3% in this case – compared to the conventional approach with fixed angular parameters. At the same time, the average grade of the valuable component remained stable within the

specified cut-off grade, confirming the validity of the developed method.

Discussion of Results

The study results demonstrate that the proposed methodology for optimizing mining units in an underground mining deposit effectively achieves the set goal: maximizing ore extraction volume while maintaining the specified cut-off grade and technological parameters of mining (3).

The developed algorithm for calculating cluster indicators enhances calculation accuracy, which in turn ensures the correct selection of clusters within each mining unit. This is particularly critical for underground mining, where precise delineation of mining units directly impacts the economic efficiency of mining operations.

Compared to similar methods [10], the proposed algorithm offers more accurate accounting of the geometric characteristics of stopes.

However, it should be noted that this methodology has certain limitations, primarily its dependency on the quality of the initial block model and the requirement for substantial computational resources when processing large data sets.

The developed method for optimizing mineral extraction has been implemented in the K-MINE Stope Optimizer module. This module enables the formation of optimal stopes for underground mining of the deposit based on specified quality indicators or economically justified mining parameters. Additionally, a solid orebody wireframe can be used as a constraint to limit the shape of the mining unit.

Mining technological factors are incorporated in the K-MINE software by setting maximum and minimum allowable dip angles of the stope's sidewalls, minimum and maximum stope lengths, permissible ranges for panel width and height, as well as the shape of its profile.

For each stope bordering waste rock, dilution indicators are calculated, which may be defined by regulatory standards or determined via a linear rock caving model.

The stopes formed during optimization are vector objects containing all necessary parameters (volume, weight, quali-

ty indicators, dimensions, level elevation, etc.), which can be used for subsequent mine design and planning tasks.

The obtained results are presented in detailed and summary tabular reports, enabling evaluation of the optimization scenario or comparison of multiple optimization variants with different initial data and constraints.

Conclusion

The developed algorithm for stope optimization accounts not only for the quality parameters but also for the spatial and geometric features of how mining units intersect with the block model of a mineral deposit. This approach significantly improves the accuracy of delineating mining units, reduces ore loss, and minimizes dilution during mineral extraction. The results of the conducted studies confirm that the use of variable dip angles for mining units contributes to an increase in the total volume of recoverable rock mass without substantially decreasing the average grade of the valuable component. Therefore, the proposed algorithm is a technologically sound and promising tool for enhancing the efficiency and productivity of mining operations.

The algorithm has been successfully integrated into the functional environment of modern K-MINE software, which confirms its practical relevance for addressing challenges in mining production. Integration with K-MINE's features enabled optimization of calculations based on economic profitability indicators, significantly improved planning accuracy, and increased profitability in deposit exploitation.

The flexibility of accounting for various geological and technological constraints in forming mining units, combined with K-MINE's capabilities for calculating extraction volumes, ensures the method's versatility and adaptability to different orebody configurations and a wide range of mining systems.

The synergy between the proposed method and K-MINE's implemented tools offers an effective framework for improving technological resilience, ensuring responsible subsoil use, and enhancing the overall operational efficiency of mining enterprises.

REFERENCES

1. Alford C. *Optimisation in underground mine design // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*. 1996. V. 33. 220A p. (in English)
2. Bai X., Marcotte D., Simon R. *Underground stope optimization with network flow method // Computers & Geosciences*. 2013. V. 52. 361–371 pp. (in English)
3. Ataee-pour M. *A heuristic algorithm to optimize stope boundaries: PhD thesis. Faculty of Engineering, University of Wollongong, 2000 (in English)*
4. Haycocks C., Aelick R. *Sublevel stoping // SME mining engineering handbook, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration: Littleton, 1992. V. 2. Second edition (in English)*
5. *Optimization in the design of underground mine access / Brazil M. [et al.] // Proceedings Orebody Modelling and Strategic Mine Planning. 2004. 3–6 pp. (in English)*
6. Khachumov M.V. *Rasstoyaniya, metriki i klasternyi analiz [Distances, metrics, and cluster analysis], Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii [Artificial Intelligence and Decision Making]. 2012. No. 1. 81–89 pp. (in Russian)*
7. Kuznetsov O.L., Nikitin A.A., Cheremisina E.N. *Geoinformatika i geoinformatsionnye sistemy [Geoinformatics and geoinformation systems]. Moscow: VNIIGeosystem, 2005. 453 p. (in Russian)*

8. *Geoinformatsionnaya plotnost matematicheskikh modelei gornogo predpriyatiya [Geoinformation density of mathematical models of mining enterprise], Khokhryakov V.S. [et al.], Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal [News of Higher Education Institutions. Mining Journal]. 1990. No. 9. 14–20 pp. (in Russian)*
9. *Amelkin S.A., Zakharov A.V., Khachumov V.M. Obobshchennoe rasstoyanie Evklida-Makhalanobisa i ego svoystva [Generalized Euclidean-Mahalanobis distance and its properties], Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy [Information Technologies and Computing Systems]. 2006. No. 4. 40–44 pp. (in Russian)*
10. *Sandanyake D.S.S. Stope boundary optimisation in underground mining based on a heuristic approach: PhD dissertation. Curtin University, WA School of Mines, 2014 (in English)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Alford C. Жер асты кен орындарын жобалауда оңтайландыру // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. 1996. Т. 33. Б. 220А (ағылшын тілінде)*
2. *Bai X., Marcotte D., Simon R. Желі ағыны әдісі арқылы жер асты қазбасын оңтайландыру // Computers & Geosciences. 2013. Т. 52. Б. 361–371 (ағылшын тілінде)*
3. *Ataee-pour M. Шикізат қазу шекарасын оңтайландыруға арналған эвристикалық алгоритм: PhD диссертациясы. Wollongong университетінің инженерлік факультеті, 2000 (ағылшын тілінде)*
4. *Hauser C., Aelick R. Қабат астындағы қазу әдісі // ШОБ тау-кен инженерлік анықтамалығы, Тау-кен, металлургия және барлау қоғамы: Литлтон, 1992. Т. 2. Екінші басылым (ағылшын тілінде)*
5. *Жер асты кен орындарына қол жеткізуді жобалауда оңтайландыру / Brazil M. [және т. б.] // Proceedings Orebody Modelling and Strategic Mine Planning. 2004. Б. 3–6 (ағылшын тілінде)*
6. *Хачумов М.В. Қашықтықтар, метрикалар және кластерлік талдау // Жасанды интеллект және шешім қабылдау. 2012. № 1. Б. 81–89 (орыс тілінде)*
7. *Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформатика және геоинформациялық жүйелер: М.: ВНИИгеосистем, 2005. 453 б. (орыс тілінде)*
8. *Кен өндірісінің математикалық модельдерінің геоинформациялық тығыздығы / Хохряков В.С. [және т. б.] // Жоғары оқу орындарының жаңалықтары. Тау журналы. 1990. № 9. Б. 14–20 (орыс тілінде)*
9. *Амелькин С.А., Захаров А.В., Хачумов В.М. Евклид-Махаланобис арақашықтығының жалпыланған түрі және оның қасиеттері // Ақпараттық технологиялар және есептеу жүйелері. 2006. № 4. Б. 40–44 (орыс тілінде)*
10. *Sandanyake D.S.S. Эвристикалық тәсілге негізделген жер асты қазбасының шекарасын оңтайландыру: PhD диссертациясы. Curtin университеті, WA School of Mines, 2014 (ағылшын тілінде)*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Alford C. Оптимизация проектирования подземных шахт // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. 1996. Т. 33. С. 220А (на английском языке)*
2. *Bai X., Marcotte D., Simon R. Оптимизация выработок с помощью метода сетевого потока // Computers & Geosciences. 2013. Т. 52. С. 361–371 (на английском языке)*
3. *Ataee-pour M. Эвристический алгоритм оптимизации границ выработок: диссертация PhD. Факультет инженерии, Университет Вуллонгонга, 2000 (на английском языке)*
4. *Hauser C., Aelick R. Каскадное выемочное производство. Руководство по горному делу для малого и среднего бизнеса. Общество горного дела, металлургии и разработки месторождений: Литлтон, 1992. Т. 2. Второе издание (на английском языке)*
5. *Оптимизация проектирования доступа к подземной шахте / Brazil M. [и др.] // Proceedings Orebody Modelling and Strategic Mine Planning. 2004. С. 3–6 (на английском языке)*
6. *Хачумов М.В. Расстояния, метрики и кластерный анализ // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 1. С. 81–89 (на русском языке)*
7. *Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформатика и геоинформационные системы: М.: ВНИИгеосистем, 2005. 453 с. (на русском языке)*
8. *Геоинформационная плотность математических моделей горного предприятия / Хохряков В.С. [и др.] // Известия вузов. Горный журнал. 1990. № 9. С. 14–20 (на русском языке)*
9. *Амелькин С.А., Захаров А.В., Хачумов В.М. Обобщенное расстояние Евклида-Махаланобиса и его свойства // Информационные технологии и вычислительные системы. 2006. № 4. С. 40–44 (на русском языке)*

10. Sandanyake D.S.S. Оптимизация границ выработок в подземной добыче на основе эвристического подхода: диссертация PhD. Горный факультет Университета Кертин, Вашингтон, 2014
(на английском языке)

Information about the authors:

Imashev A.Zh., Ph.D, Associate Professor, Head of the Department «Development of Mineral Deposits» Abylkas Saginov Karaganda Technical University (Karaganda, Kazakhstan), a.imashev@kstu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-9799-8115>

Ungitbayev M.Zh., Candidate of Technical Sciences, Director of the «Nurkazgan» underground mine, Kazakhmys Corporation LLP (Karaganda, Kazakhstan), 77023920146.am@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-1704-6634>

Vlasenko V.A., Head of Software Implementation Department, K-MINE International Ltd (London, United Kingdom), vlasenko@k-mine.com; <https://orcid.org/0000-0001-8629-2486>

Padurets Ye.V., Mining Engineer, K-MINE International Ltd (London, United Kingdom), yevheniy.padurets@k-mine.com; <https://orcid.org/0009-0006-4214-2156>

Авторлар туралы мәліметтер:

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

Ұңғытбаев М.Ж., техника ғылымдарының кандидаты, «Нұрқазған» жер асты кеніші директоры, «Қазақмыс корпорациясы» ЖШС (Қарағанды қ., Қазақстан)

Власенко В.А., бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізу бөлімінің жетекшісі, K-MINE International Ltd (Лондон қ., Ұлыбритания)

Падурец Е.В., тау-кен инженері, K-MINE International Ltd (Лондон қ., Ұлыбритания)

Сведения об авторах:

Имашев А.Ж., Ph.D, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Разработка месторождений полезных ископаемых» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылқаса Сағинова» (г. Караганда, Казахстан)

Уңғытбаев М.Ж., к.т.н, директор подземного рудника «Нурқазған» ТОО «Корпорация Казахмыс» (г. Караганда, Казахстан)

Власенко В.А., руководитель отдела внедрения программного обеспечения, K-MINE International Ltd (г. Лондон, Великобритания)

Падурец Е.В., горный инженер, K-MINE Inc., K-MINE International Ltd (г. Лондон, Великобритания)

15-17 апреля

ВК УФА ЭКСПО МЕНДЕЛЕЕВА, 158

УФА 2026

УРАЛЬСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ. НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ «МЕРА»

ОРГАНИЗАТОРЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
СОБРАНИЕ КУРУЛТАЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
ЭНЕРГЕТИКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

По вопросам участия в выставке:
8 (347) 246 41 77, +7 917 354 45 05
mera@bvkexpo.ru

По вопросам участия в деловой программе
8 (347) 246 42 85, +7 937 163 71 50
kongress@bvkexpo.ru



umgforum.ru

Код МРНТИ 52.35.29

*D. Baimolda¹, S. Lennik², N. Aytan³, E.R. Khalikova⁴¹Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan),²Institute of Nuclear Physics (Almaty, Kazakhstan),³Aisaf Private Girls' School, Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan),⁴NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

STUDY OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE COMPOSITION OF THE SHUBARKOL COAL BY X-RAY FLUORESCENCE METHOD

Abstract. This article talks about ways to use analytical methods in the study of the chemical composition of coal, which is the main source of energy for the developing countries of the world. It is known that coal production in the world has been developing very intensively in recent years. In this regard, the issue of using analytical methods in coal production is on the agenda. Also, it is said that with the help of analytical methods based on physical phenomena such as X-ray, gamma ray and neutron interaction, it is possible to evaluate the quality of coal before burning it. The article describes how to study and monitor the coal ash content in the mine before it is mined, using X-ray fluorescence, one of the most suitable analytical methods.

Key words: analytical method, coal, X-ray, coal ash, microelement, gamma ray, sulfur.

Шұбаркөл көмірінің құрамындағы химиялық элементтерді рентген-флуоресценттік әдіспен зерттеу

Аннотация. Бұл мақалада дамушы елдер үшін негізгі энергия көзі болып табылатын көмірдің химиялық құрамын зерттеуде аналитикалық әдістерді қолдану жолдары қарастырылады. Соңғы жылдары әлемде көмір өндіру қарқынды түрде дамып келе жатқаны белгілі. Осыған байланысты көмір өндірісінде аналитикалық әдістерді қолдану мәселесі өзекті болып отыр. Сонымен қатар рентген, гамма-сәуле және нейтрондардың өзара әрекеттесуі сияқты физикалық құбылыстарға негізделген аналитикалық әдістердің көмегімен көмірдің сапасын оны жағар алдында бағалауға болатыны айтылған. Мақалада ең қолайлы аналитикалық әдістердің бірі – рентген-флуоресценттік талдау арқылы көмірді өндіруге дейін кен орнында оның күл құрамын зерттеу және бақылау жолдары сипатталады.

Түйінді сөздер: аналитикалық әдіс, көмір, рентген, көмір күлінің мөлшері, микроэлемент, гамма-сәуле, күкірт.

Исследование химических элементов в составе Шубаркульского угля методом рентгенофлуоресцентного анализа

Аннотация. В статье рассматриваются способы применения аналитических методов при изучении химического состава угля, который является основным источником энергии для развивающихся стран мира. Известно, что производство угля в мире в последние годы развивается очень интенсивно. В связи с этим вопрос использования аналитических методов в угольной промышленности выходит на первый план. Также отмечается, что с помощью аналитических методов, основанных на физических явлениях, таких как взаимодействие рентгеновских лучей, гамма-лучей и нейтронов, можно оценивать качество угля до его сжигания. В статье описывается, как изучать и контролировать зольность угля при его добыче, используя рентгенофлуоресцентный анализ, один из наиболее подходящих аналитических методов.

Ключевые слова: аналитический метод, уголь, рентген, зола угля, микроэлемент, гамма-луч, сера.

Introduction

The fact that modern electric heating stations are becoming larger and larger, and water – boiling boilers are starting to work in high temperature conditions, is increasing the interest of specialists in the mineral substances contained in the main fuel needed for these stations-coal. Corrosion of boilers and hot water pipes at high temperatures is largely due to sulfur, chlorine, alkali elements and ash content of coal. When coal is burned in electric heating stations, carbon dioxide and other toxic gases are released into the sky. These gases not only pollute the air, but also heat the atmosphere more and more. Therefore, the countries of the world began to worry about this and sound the alarm. Therefore, it is clear that coal users and coal producers want to know about the mineral substances contained in coal and toxic and harmful substances that are formed after burning coal [1, 2].

Previously, such elements as *C, H, O, N, S, Si, Fe, Al, K, Ca, Mg* in coal and coal were identified by chemical research. And if the micro-element content in coal is -0.1% or even lower, then it would be difficult to study it chemically. Therefore, the way to solve this problem is that the study of the elemental composition of coal by the method of X-ray fluorescence, which is a method of nuclear physics, is gaining wide application. Such research works are widely covered in such European countries as Germany, the Czech Republic and Poland. Kazakhstan is rich in coal, so it is important to use lightweight portable X-ray fluorescence spectrometers in coal fields to regularly check and evaluate the quality of coal seams. This is one of the important tasks of our time [3, 4].

From the point of view of environmental protection and environmental conservation, this will also be very important. Registration of X-ray of sulfur 2.308 keV S-K α , measurement work has been widely studied and discussed in the works of a number of foreign scientists [5–7]. According to these works, a good result was achieved after the corresponding adjustments were made mathematically due to the effect of the influence of the elements contained in coal on each other. When determining sulfur, iron, ash and other elements in coal using the classical chemical method, a large number of chemical reagents are required and other materials take a long time. And in the work of a number of scientists, it has been shown that using the method of X-ray fluorescence research (XFR), it is possible to detect not only sulfur, iron, but also more elements at the same time, with great accuracy [8, 9].

Due to its ecological importance, one of the most studied and most recorded elements in coal will be sulfur (*S*). The sulfur content in coal averages 10–12% of the total mass. Coal ash is the mineral substances contained in coal that do not burn when it is burned. The more minerals are contained in coal, the higher its ash content. Coal ash mainly consists of compounds of elements such as silicon, aluminum, iron, calcium, magnesium, titanium, and potassium [1, 2].

Research on the composition of coal ash using nuclear physics methods has been conducted with great intensity over the past 20 years, the work of many research scientists has been published in this field, as well as new research techniques and methods have been introduced [9–11].

Research methods and results

During the work on determining the elements in coal and coal ash by X-ray fluorescence, a sample of Shubarkul coal was taken as an object (UG-1) (Figure 1). The elemental composition of these samples was determined using an «energy-dispersive X-ray fluorescence device with an XFD-21 semiconductor detector» in the Laboratory of Nuclear Physics Analysis Methods at the Institute of Nuclear Physics in Almaty. At first, the coal was prepared by grinding in a special device. The obtained samples were placed in a mold and examined on an energy-dispersive X-ray fluorescence device with an XFD-21 semiconductor detector, showing the following results (Figure 2).

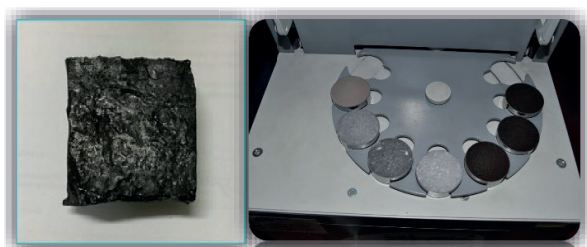


Figure 1. UG-1 Shubarkul coal sample.
Сурет 1. UG-1 Шұбаркөл көмір үлгісі.
Рис. 1. Образец Шубаркөлского угля UG-1.

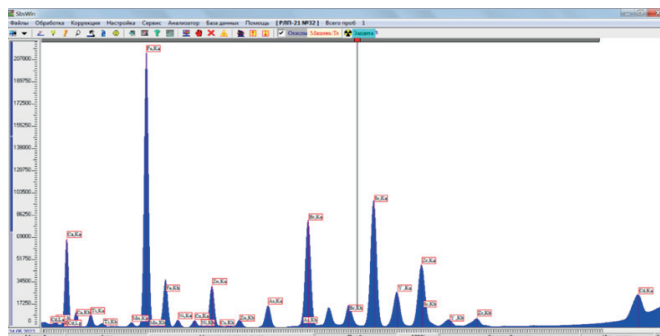


Figure 2. X-ray spectrum of the Shubarkul coal sample UG-1.

Сурет 2. Шубаркөл кен орны UG-1 көмір үлгісінің рентген спектрі.

Рис. 2. Рентгеновский спектр образца угля UG-1 Шубаркөлского угольного месторождения.

In these studies, using an energy-dispersive X-ray fluorescence device with a semiconductor detector, it is possible to observe more than 100 gamma-ray peaks in the spectrum corresponding to 31 elements in carbon, such as *Sr, Ag, Se, Fe, Nb, Ni, K, Th, Cu* and others. However, the main disadvantage of this method is that the research instrument used is designed

Table 1
Indicators (mass fractions) for the determination of chemical elements in a crushed UG-1 Shubarkul coal sample taken as a standard by X-ray fluorescence analysis (additional Z = 1.19, total amount: 0.97%, number of elements: 31)

Кесте 1

Стандарт ретінде алынған Шұбаркөл кен орны UG-1 көмірінің ұсақталған үлгісін рентген-флуоресценциялы талдау арқылы химиялық элементтерді анықтау көрсеткіштері (қосымша Z = 1.19, жалпы сомасы: 0.97%, элементтер саны: 31)

Таблица 1

Показатели (массовые доли) для определения химических элементов в измельченном образце угля UG-1 с Шубаркөлского угольного месторождения, взятом в качестве стандарта, методом рентгенофлуоресцентного анализа (дополнительный Z = 1.19, суммарное содержание: 0.97%, количество элементов: 31)

Element	Indicator (mass fractions)	Element	Indicator (mass fractions)
<i>Fe</i>	0.1731±0.00049%	<i>Cu</i>	0.00211±0.000065%
<i>Zn</i>	0.00222±0.000041%	<i>Pb</i>	< 0.0001±0.000042%
<i>Ag</i>	0.9±0.01 г/т	<i>Cd</i>	2.1±0.02 г/т
<i>Th</i>	0.2±0.02 г/т	<i>U</i>	1.0±0.02 г/т
<i>K</i>	0.30±0.023%	<i>CaO</i>	0.435±0.0139%
<i>Se</i>	< 0.0001±0.0048%	<i>Ti</i>	0.029±0.0025%
<i>V</i>	< 0.0001±0.00092%	<i>Cr</i>	0.0010±0.00049%
<i>Mn</i>	< 0.01±0.00026%	<i>Co</i>	0.0007±0.00018%
<i>Ni</i>	< 0.0001±0.00011%	<i>Ga</i>	< 0.0001±0.000027%
<i>As</i>	<0.0001±0.00011%	<i>Se</i>	< 0.0001±0.000018%
<i>Br</i>	0.00119±0.000029%	<i>Rb</i>	< 0.0001%
<i>Sr</i>	0.00294±0.000012%	<i>Y</i>	0.00%
<i>Zr</i>	0.00%	<i>Nb</i>	< 0.0001%
<i>Mo</i>	< 0.0001%	<i>Pd</i>	< 0.1 г/т
<i>BaSO4</i>	0.02±0.001%	<i>W</i>	< 0.0001±0.00011%
<i>Bi</i>	< 0.0001±0.000035%		

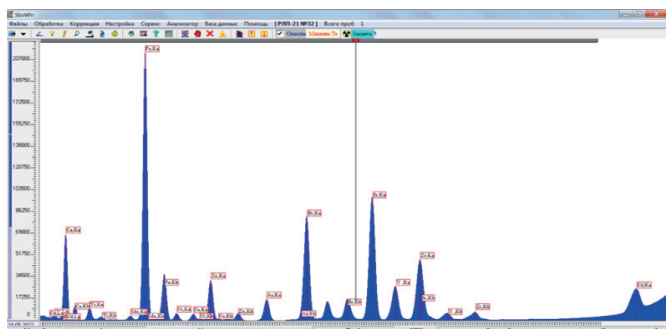


Figure 3. X-ray spectrum of the Shubarkul coal ash sample UG-1.

Сурет 3. Шубарколь кен орны UG-1 көмір күл үлгісінің рентген спектрі.

Рис. 3. Рентгеновский спектр образца угольной золы UG-1 Шубаркольского угольного месторождения.

to study rocks, and therefore it is not able to identify many elements. Compared to coal, the composition of the elements in the coal ash was determined more accurately (Figure 3).

Conclusions

If we compare the indicators (mass fractions) from Tables 1 and 2, the iron (Fe) content in Shubarkul coal samples is $Fe = 0.1731 \pm 0.00049\%$, whereas in Shubarkul coal ash the iron (Fe) content is $Fe = 3.12 \pm 0.003\%$. Therefore, the absolute difference can be calculated using the formula: $FeI = \text{summa}(Fe(UG-1) - Fe(\text{ash}))/N$. and it turns out that $FeI = 2.9469 \pm 0.00251\%$.

In this study, it was noted that an energy-dispersive X-ray fluorescence device with a semiconductor detector «XFD-21» makes it possible to determine the composition of coal ash more accurately and visually than the composition of coal itself.

Table 2

Indicators (mass fractions) for the determination of chemical elements by X-ray fluorescence analysis (XFA) in the ash of a UG-1 Shubarkul coal sample taken as a standard (additional $Z = 1,19$, total amount: 0.97%, number of elements: 31)

Кесте 2

Стандарт ретінде алынған Шубарколь кен орны UG-1 көмір үлгісінің күлін рентген-флуоресценциялы талдау арқылы химиялық элементтерді анықтау көрсеткіштері (қосымша $Z = 1,19$, жалпы сомасы: 19,70%, элементтер саны: 31)

Таблица 2

Показатели (массовые доли) для определения химических элементов в золе образца угля UG-1 Шубаркольского угольного месторождения, взятого в качестве стандарта, методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) (дополнительный $Z = 1,19$, суммарное содержание: 19,70%, количество элементов: 31)

Element	Indicator (mass fractions)	Element	Indicator (mass fractions)
Fe	$3.12 \pm 0.003\%$	Cu	$0.0296 \pm 0.00017\%$
Zn	$0.1210 \pm 0.00023\%$	Pb	$0.0412 \pm 0.00014\%$
Ag	0.6 ± 0.2 г/т	Cd	101.1 ± 0.03 г/т
Th	10.5 ± 0.6 г/т	U	6.8 ± 0.4 г/т
K	$0.59 \pm 0.022\%$	CaO	$14.48 \pm 0.033\%$
Se	$< 0.0001 \pm 0.012\%$	Ti	$0.679 \pm 0.0056\%$
V	$0.012 \pm 0.0029\%$	Cr	$0.0140 \pm 0.00083\%$
Mn	$0.066 \pm 0.0006\%$	Co	$0.0083 \pm 0.00074\%$
Ni	$0.0256 \pm 0.00022\%$	Ga	$0.00175 \pm 0.000075\%$
As	$0.0087 \pm 0.00011\%$	Se	$0.00026 \pm 0.000032\%$
Br	$0.1128 \pm 0.00013\%$	Rb	$0.00182 \pm 0.0001\%$
Sr	$0.06935 \pm 0.000071\%$	Y	$0.01634 \pm 0.000036\%$
Zr	$0.01978 \pm 0.000043\%$	Nb	$0.00132 \pm 0.000017\%$
Mo	$0.00132 \pm 0.000018\%$	Pd	0.1 ± 0.1 г/т
$BaSO_4$	$0.0309 \pm 0.0033\%$	W	$< 0.0001 \pm 0.00039\%$
Bi	$0.0003 \pm 0.00015\%$		

REFERENCES

- Baimolda D., Application of X-ray fluorescence analysis in the coal industry: Monograph: Almaty: Ulagat, 2018. 160 p. (in English)
- Baimolda D, Cechak T, Kulbek M, Aytan N, Shyngysova S. (June 5, 2023). Investigation of concentric-zonal color effects in polyphase ceramic samples by X-ray fluorescence analysis. Review of Scientific Instruments. <https://doi.org/10.1063/5.0144815> (in English)

3. Junussov M., Mustapayeva S. (November 17, 2024). Preliminary XRF Analysis of Coal Ash from Jurassic and Carboniferous Coals at Five Kazakh Mines: Industrial and Environmental Comparisons. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app142210586> (in English)
4. Development and application of coal quality intelligent inspection system based on NIRS-XRF technology / Gao R. [et al.] // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2025. No. 40. 1069–1085 pp. (in English)
5. Safda I., Subhani Q., Muhammad N., Hussain I. (October 2025). Investigation of physicochemical properties and leaching behavior of coal fly ash and bottom ash by using XRF and AAS: Multivariate analysis. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107272> (in English)
6. Junussov M., Tarikhov F., Abildakhanov A., Zhanaidar D., Mekenbek G., Assambayeva A. (November 28, 2024). Mineralogical and elemental analysis of Kazakh coals from three mines: Preliminary insights from mode of occurrence to environmental impacts. *Open Geosciences*. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0721> (in English)
7. Khan Z., Bibi S. Removal of trace elements from Thar coal to minimize its hazardous effect on the environment // *Journal of Himalayan Earth Sciences*. 2016. V. 49. No. 1. 50–57 pp. (in English)
8. Structural difference of gas coal separation components and its effect on sulfur transformation during pyrolysis of high sulfur coal / Cheng C. [et al.] // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. 2021. V. 49. No. 9. 1219–1230 pp. (in English)
9. Revenko A., Pashkova G. Study of the chemical composition of coal and coal ash by X-ray fluorescence method: A review // *X-Ray Spectrometry*. 2024. No. 54. 159–170 pp. (in English)
10. Integrated Compositional Modeling and Machine Learning Analysis of REE-Bearing Coal Ash from a Weathered Dumpsite / Nadirov R. [et al.] // *Minerals*. 2025. No. 15. 1–19 pp. (in English)
11. Wang S., Cao S., Li S. (February 1, 2026). Advances in rapid spectroscopic methods for coal analysis: Principles, key techniques, and emerging measurement challenges. *Measurement*. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.119493> (in English)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Баймолда Д. Көмір өнеркәсібінде рентген-флуоресценттік талдауды қолдану: монография: Алматы: Ұлағат, 2018. 160 б. (ағылшын тілінде)
2. Баймолда Д., Чехак Т., Күлбек М., Айтан Н., Шыңғысова С. (5 маусым 2023). Көпфазалы керамикалық үлгілердегі концентрлі-аймақтық түстік әсерлерді рентген-флуоресценттік талдау арқылы зерттеу. *Review of Scientific Instruments*. <https://doi.org/10.1063/5.0144815> (ағылшын тілінде)
3. Жүнісов М., Мұстапаева С. (2024 жылғы 17 қараша). Қазақстанның бес кенішіндегі юра және таскөмір дәуіріне жататын көмір күлін алдын ала РФТ талдауы: өндірістік және экологиялық салыстырулар. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app142210586> (ағылшын тілінде)
4. NIRS-XRF технологиясы негізінде көмір сапасын интеллектуалды бақылау жүйесін әзірлеу және қолдану / Gao R. [және т. б.] // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2025. № 40. Б. 1069–1085 (ағылшын тілінде)
5. Safda I., Subhani Q., Muhammad N., Hussain I. (Қазан 2025). Көмірдің ұшпа күлі мен түпкі күлінің физика-химиялық қасиеттері мен шаймалану мінез-құлқын XRF және AAS әдістері арқылы зерттеу: көпөлшемді талдау. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107272> (ағылшын тілінде)
6. Жүнісов М., Тарихов Ф., Әбілдақанов А., Жанайдар Д., Мекенбек Г., Ассамбаева А. (28 қараша, 2024). Қазақстанның үш кенішінен алынған көмірлердің минералогиялық және элементтік талдауы: пайда болу ерекшеліктерінен экологиялық әсерлерге дейінгі алдын ала нәтижелер. *Open Geosciences*. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0721> (ағылшын тілінде)
7. Khan Z., Bibi S. Қоршаған ортаға зиянды әсерін азайту мақсатында Тар көмірінен микроэлементтерді жою // *Journal of Himalayan Earth Sciences*. 2016. Т. 49. № 1. Б. 50–57 (ағылшын тілінде)
8. Газды көмірді бөлу компоненттерінің құрылымдық айырмашылығы және оның жоғары күкіртті көмір пиролизі кезіндегі күкірттің түрленуіне әсері / Cheng C. [және т. б.] // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. 2021. Т. 49. № 9. Б. 1219–1230 (ағылшын тілінде)
9. Ревенко А., Пашкова Г. Көмір мен көмір күлінің химиялық құрамын рентген-флуоресценттік әдіспен зерттеу: шолу // *X-Ray Spectrometry*. 2024. № 54. Б. 159–170 (ағылшын тілінде)
10. Камунур К., Муссапырова Л., Батқал А., Тюменцева О., Карагулованова А. Үгілген үйінді аумағындағы сирекжер элементтері бар көмір күлін кешенді құрамдық модельдеу және машиналық оқыту арқылы талдау / Надиров Р. [және т. б.] // *Minerals*. 2025. № 15. Б. 1–19 (ағылшын тілінде)
11. Wang S., Cao S., Li S. (2026 жылғы 1 ақпан). Көмірді талдаудың жедел спектроскопиялық әдістеріндегі жетістіктер: қағидаттары, негізгі технологиялар және жаңа өлшеу мәселелері. *Measurement*. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.119493> (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баймолда Д. Применение рентгенофлуоресцентного анализа в угольной промышленности: монография: Алматы: Ұлағат, 2018. 160 с. (на английском языке)
2. Баймолда Д., Чехак Т., Күлбек М., Айтан Н., Шыңғысова С. (5 июня 2023 г.). Исследование концентрически-зональных цветовых эффектов в многофазных керамических образцах методом рентгенофлуоресцентного анализа. *Review of Scientific Instruments*. <https://doi.org/10.1063/5.0144815> (на английском языке)
3. Жунусов М., Мустафаева С. (17 ноября 2024 г.). Предварительный РФА-анализ золы юрских и каменноугольных углей на пяти казахстанских месторождениях: промышленное и экологическое сравнение. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app142210586> (на английском языке)
4. Разработка и применение интеллектуальной системы контроля качества угля на основе технологии NIRS-XRF / Gao R. [и др.] // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2025. № 40. С. 1069–1085 (на английском языке)
5. Safda I., Subhani Q., Muhammad N., Hussain I. (Октябрь 2025 г.). Исследование физико-химических свойств и поведения при выщелачивании золы-уноса и донной золы угля с использованием методов XRF и AAS: многомерный анализ. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107272> (на английском языке)
6. Жунусов М., Тарихов Ф., Абильдаканов А., Жанаидар Д., Мекенбек Г., Ассамбаева А. (28 ноября 2024 г.). Минералогический и элементный анализ казахстанских углей из трёх месторождений: предварительные выводы от особенностей формирования до экологических последствий. *Open Geosciences*. <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0721> (на английском языке)
7. Khan Z., Bibi S. Удаление микроэлементов из угля Тар для минимизации его вредного воздействия на окружающую среду // *Journal of Himalayan Earth Sciences*. 2016. Т. 49. № 1. С. 50–57 (на английском языке)
8. Структурные различия компонентов разделения газового угля и их влияние на трансформацию серы при пиролизе высокосернистого угля / Cheng C. [и др.] // *Journal of Fuel Chemistry and Technology*. 2021. Т. 49. № 9. С. 1219–1230 (на английском языке)
9. Ревенко А., Пашкова Г. Изучение химического состава угля и угольной золы методом рентгенофлуоресцентного анализа: обзор // *X-Ray Spectrometry*. 2024. № 54. С. 159–170 (на английском языке)
10. Комплексное композиционное моделирование и анализ с применением машинного обучения золы угля, содержащей редкоземельные элементы, с выветрелого отвала / Надиров Р. [и др.] // *Minerals*. 2025. № 15. С. 1–19 (на английском языке)
11. Wang S., Cao S., Li S. (1 февраля 2026 г.). Современные достижения в быстрых спектроскопических методах анализа угля: принципы, ключевые технологии и новые измерительные задачи. *Measurement*. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.119493> (на английском языке)

Information about the authors:

Baimolda D., Doctor of physical sciences (Ph.D), professor, Department of Physics, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan), dosanb@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8790-4931>

Lennik S., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory of Nuclear-Physical Methods of Analysis, Institute of Nuclear Physics (Almaty, Kazakhstan), sveta_sg@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3995-9588>

Aytan N., Physics Teacher, Aisaf Private Girls' School, Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), aytan.nazy@gamil.com; <https://orcid.org/0000-0003-1801-4104>

Khalikova E.R., Ph.D., Associate Professor of the Department of Mineral Deposit Development, NJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan), salyahova_e@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1501-8492>

Авторлар туралы мәліметтер:

Баймолда Д., физика ғылымының Ph.D докторы, «Физика» кафедрасының профессоры, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Ленник С., физика-математика ғылымдарының кандидаты, ядролық-физикалық тапдау әдістері зертханасының меңгерушісі, Ядролық физика институты (Алматы қ., Қазақстан)

Айтан Н., физика пәнінің мұғалімі, «АйСаф» жеке қыздар мектебі (Алматы қ., Қазақстан)

Халикова Э.Р., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының доценті міндетін атқарушы, «Абылкас Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Баймолда Д., доктор Ph.D физических наук, профессор кафедры «Физика», Казахский Национальный педагогический университет им. Абая (г. Алматы, Казахстан)

Ленник С., кандидат физико-математических наук, заведующая лабораторией ядерно-физических методов анализа, Институт ядерной физики (г. Алматы, Казахстан)

Айтан Н., учитель физики, Частная школа для девочек «АйСаф» (г. Алматы, Казахстан)

Халикова Э.Р., Ph.D, ассоциированный профессор (доцент) кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Код МРНТИ 52.31.47

А.Қ. Матаев, *А.М. Хамзе, Ж.О. Садық, А.А. Қайырбек

НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ТЕКТОНИЧЕСКИ НАРУШЕННЫХ ЗОНАХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

Аннотация. Целью данной статьи является разработка и научное обоснование эффективной технологии крепления горных выработок, функционирующих в условиях сложных геомеханических и гидрогеологических факторов. В работе проведен анализ деформационного состояния приконтурного массива горных пород, а также выполнена оценка эффективности существующих типов крепления, применяемых в подземных выработках. Особое внимание уделено исследованию поведения материалов и конструкций крепи в процессе длительной эксплуатации под воздействием горного давления и внешних факторов. На основе полученных результатов предложены технические решения и рекомендации, направленные на повышение устойчивости горных выработок, снижение риска деформаций и аварийных ситуаций, а также на обеспечение безопасного и эффективного ведения горных работ.

Ключевые слова: напряженное состояние, массив, руда, порода, скважина, крепь, Q -индекс Бартона.

Тектоникалық бұзылған аймақтардағы жерасты тау-кен қазбаларында бұрғылау-жару жұмыстарының параметрлерін геомеханикалық негіздеу

Аңдатпа. Мақаланың мақсаты – күрделі геомеханикалық және гидрогеологиялық жағдайларда жұмыс істейтін тау-кен қазбаларын бекітудің тиімді технологиясын әзірлеу және ғылыми тұрғыдан негіздеу. Жұмыста қазба контуры маңындағы тау жыныстары массивінің деформациялық күйіне талдау жүргізіліп, жер асты қазбаларында қолданылатын қолданыстағы бекіту түрлерінің тиімділігі бағаланды. Сондай-ақ тау қысымы мен сыртқы факторлардың әсерінен бекіту материалдары мен конструкцияларының ұзақ мерзімді пайдалану кезіндегі мінез-құлқы зерттелді. Алынған нәтижелер негізінде тау-кен қазбаларының тұрақтылығын арттыруға, деформациялар мен апаттық жағдайлардың қаупін төмендетуге, сондай-ақ тау-кен жұмыстарын қауіпсіз әрі тиімді жүргізуді қамтамасыз етуге бағытталған техникалық шешімдер мен ұсынымдар ұсынылды.

Түпінді сөздер: кернеулі күй, массив, кен, жыныс, ұңғыма, тірек, Бартонның Q -индексі.

Geomechanical justification of blasting parameters in tectonically disturbed zones of underground mine workings

Abstract. The purpose of this article is to develop and scientifically substantiate an effective technology for supporting mine workings operating under complex geomechanical and hydrogeological conditions. The study analyzes the deformation state of the rock mass surrounding the excavation contour and evaluates the efficiency of existing types of support used in underground workings. Particular attention is given to the behavior of support materials and structural elements during long-term operation under the influence of rock pressure and external factors. Based on the obtained results, technical solutions and recommendations are proposed aimed at improving the stability of mine workings, reducing the risk of deformations and accidents, and ensuring safe and efficient mining operations.

Key words: stress state, rock mass, ore, rock, borehole, support system, Barton Q -index.

Введение

Горнодобывающая промышленность Казахстана, благодаря своим природным ресурсам, занимает стратегически важное место в экономике страны, обеспечивая значительную долю экспорта и являясь основным источником сырья для многих отраслей [1–3]. В частности, Казахстан известен своими запасами угля, меди, золота, урана и других минералов, что делает его одним из ведущих производителей на мировом рынке [4–5]. Однако с увеличением глубины добычи и переходом к разработке более сложных и труднодоступных месторождений возрастает необходимость в решении таких проблем, как безопасность горных работ, обеспечение устойчивости горных выработок, а также повышение эффективности использования природных ресурсов. Эти вопросы приобретают особую значимость в свете повышения требований к экологическим стандартам и оптимизации производственных процессов [6].

Руды с содержанием окиси хрома более 45% не требуют обогащения. Они составляют 86.7% запасов месторождений (208.013 млн т / 240.197 млн т). Содержание составляет в богатых рудах – 52.3%, в рядовых – 38.9% окиси хрома.

На месторождении шахтной зоны «10-летия независимости Казахстана» (ДНК) серпентиниты широко распространены в дунитах, в то время как по пироксеновым дунитам они встречаются реже. Эти породы простираются на глубину от 35 до 110 м от поверхности Земли. На глубинах 10–20 м наблюдается наибольшее проявление усыхания пород, где они, первоначально мелкозернистые, со временем трансформировались в глинистую массу [7–8].

В ходе лабораторных исследований выделены четыре инженерно-геологических комплекса пород:

- *третье карбонатные мелкозернистые серпентиниты – породы низкой прочности ($R_c \approx 15$ МПа, $R_t \approx 1.3$ МПа, $f = 2-3$, категория буримости III), характерные для верхней части месторождения;*

- *серпентинизированные дуниты – породы от средней до высокой прочности ($R_c = 27-65$ МПа, $R_t = 2.7-4.5$ МПа, $f = 8-9$, категория буримости VII), а также ослабленные разномодности ($R_c \approx 17$ МПа, $R_t \approx 1.6$ МПа, $f \approx 6$, категория VI);*

- *серпентинизированные перидотиты – породы различной прочности: от низкой до высокой ($R_c = 8-58$ МПа, $R_t = 0.8-4.7$ МПа, $f = 2-8$, категории буримости III–VII).*

С увеличением глубины прочность горных пород возрастает, и сопротивление сжатию малотоннажных пород и руд на больших глубинах может варьироваться от 60 до 120 МПа.

Основная рудная залежь на месторождении в основном состоит из сплошных и густо-вкрапленных руд, а горные породы представлены различной степенью серпентинизации: безпироксеновыми дунитами, пироксеновыми дунитами и перидотитами [9–10].

Общий вид забоя на момент передачи выработки представлен на рис. 1.

На рис. 1 представлена графическая интерпретация забоя в момент передачи выработки на объекте горного производства, с акцентом на участок, подверженный тектоническому нарушению.

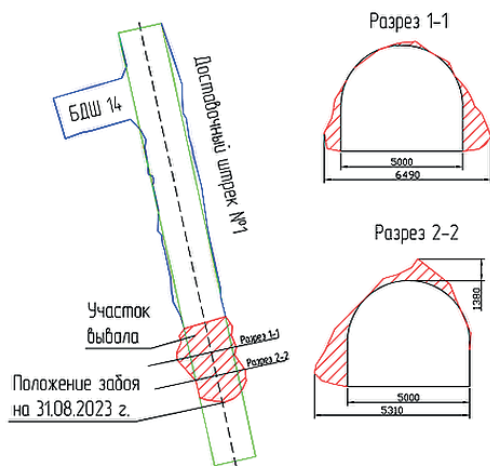


Рис. 1. Эскиз на вывалы в зоне тектонического нарушения.

Сурет 1. Тектоникалық бұзылу аймағындағы жыныс опырылуларының сызбалық көрінісі.

Figure 1. Sketch of rock falls in the tectonic disturbance zone.

Общий вид забоя отражает текущее положение выработки с указанием ее параметров по состоянию на 31 августа 2023 года. Схема демонстрирует расположение тоннельной выработки относительно геологической структуры и учитывает проектные данные по бурению и креплению. Отмеченная зона тектонического нарушения характеризуется измененной структурой массива, наличием разломов и сдвигов, что может снижать устойчивость пород и повышать требования к инженерным решениям

по креплению выработки.

Проходческие работы на опытном участке ДШ № 1 велись в породах средней крепости 30–60 МПа, что является более благоприятным условием по сравнению с участком БДШ № 9. На рис. 2 представлен общий вид забоя в процессе горнопроходческих работ на опытном участке ДШ № 1.

Проходческие работы на опытном участке ДШ-1 выполнялись в породах средней крепости с пределом прочности 30–60 МПа, что создает относительно благоприятные условия для проходки, однако требует применения надежных систем крепления. На начальном этапе наблюдались разрыхление породы и локальные обрушения, вызванные перераспределением напряжений в приконтурной зоне забоя (рис. 2а). Установка первичных креплений позволила локализовать зону разрушений и ограничить развитие деформаций.

После монтажа временных креплений отмечалась стабилизация массива: основные деформации сохранялись в приконтурной зоне, тогда как центральная часть забоя оставалась относительно устойчивой (рис. 2б). Применение сетчатых покрытий и анкерных систем снизило риск повторных обрушений.

На последующих этапах установка анкерных и каркасных креплений обеспечила дополнительную поддержку и повысила устойчивость забоя (рис. 2с). На глубине 12 п.м. процесс крепления был практически завершен, что позволило минимизировать деформации и снизить риск локальных обрушений (рис. 2д). Финальный этап характеризуется установкой постоянных креплений, перераспределяющих нагрузки в массиве и обеспечивающих долговременную устойчивость выработки (рис. 2е–ф).

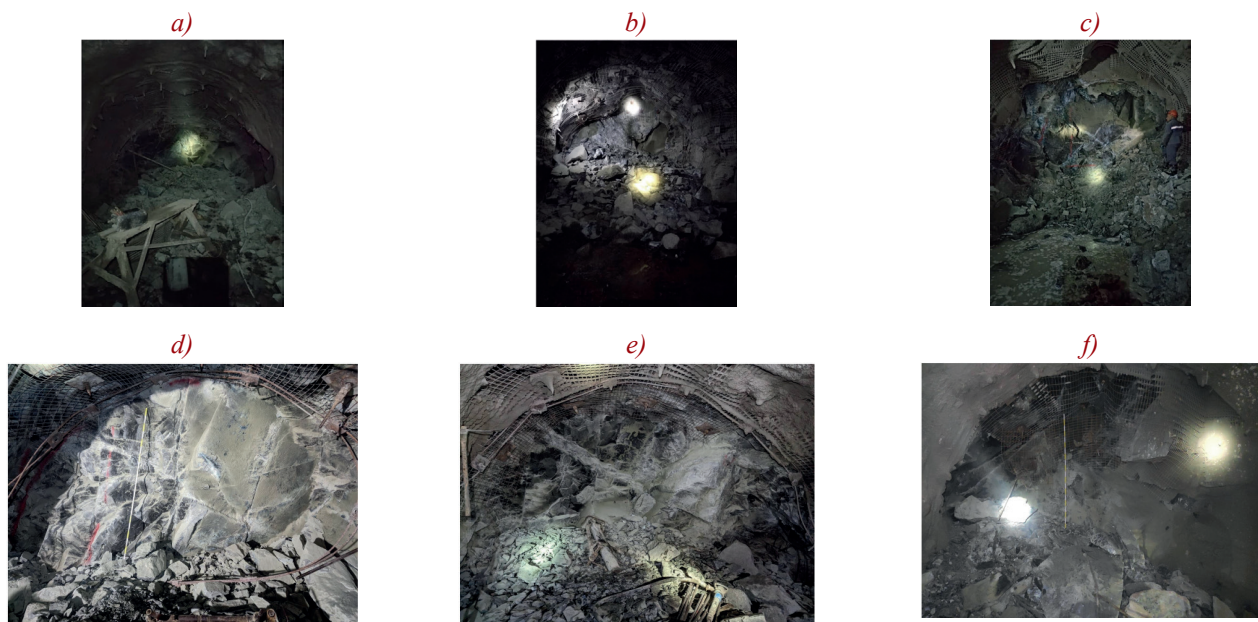


Рис. 2. Общий вид забоя ДШ-1 на момент крепления:

(a) – 3 п.м.; (b) – 6 п.м.; (c) – 9 п.м.; (d) – 12 п.м.; (e) – 14 п.м.; (f) – 16 п.м.

Сурет 2. ДШ-1 қазбасының бекіту кезіндегі жалпы көрінісі:

(a) – 3 п.м.; (b) – 6 п.м.; (c) – 9 п.м.; (d) – 12 п.м.; (e) – 14 п.м.; (f) – 16 п.м.

Figure 2. General view of heading No. 1 at the time of support installation:

(a) – 3 r.m.; (b) – 6 r.m.; (c) – 9 r.m.; (d) – 12 r.m.; (e) – 14 r.m.; (f) – 16 r.m.

Методология

Обследование и наблюдение за фактическим состоянием горной выработки ДШ № 1 (гор. –175 м, ШДНК-1) в период проведения опытно-промышленных испытаний выполнялось на участке длиной 30 п.м. с 25.07.2023 по 20.11.2023. Согласно техническому заданию после передачи выработки был организован геотехнический мониторинг в соответствии с «Методикой проведения геотехнического мониторинга состояния контура и крепи опытных участков на ШДНК-1 Донского ГОКа (АО «ТНК «Казхром»).

В ходе мониторинга проводилась геотехническая оценка состояния массива: определялись показатели RMR (по Бенявскому), Q-индекс Бартона, коэффициент трещиноватости RQD, прочность пород на одноосное сжатие (UCS) и категории устойчивости массива. Дополнительно выполнялось визуальное обследование состояния опытного участка.

Результаты представлены в таблице 1.

Измерение прочностных характеристик горных пород на одноосное сжатие (UCS) осуществляется с применением экспресс-метода, основанного на ударном импульсе, с использованием электронного склерометра ОНИКС-2.5. Этот метод позволяет оперативно оценить механические свойства породы непосредственно в полевых условиях. Для повышения точности определения прочностных характеристик также выполняется отбор образцов с последующим лабораторным испытанием их механических свойств на приборе сосредоточенного нагружения ПСН-0.16.10. Данный комплексный подход обеспечивает более достоверную оценку прочностных характеристик, что критически важно для геомеханических расчетов и прогноза устойчивости горных массивов.

Результаты и обсуждения

Опытный участок находится в зоне III тектонического нарушения и тектонического нарушения «Бука Запад», а также в зоне контакта с рудой. Средняя крепость пород 30–60 МПа. В связи с чем ведение проходческих работ осложнено, массив характеризуется как сильнотрещиноватый от неустойчивого до весьма неустойчивого, трещины заполнены тальк-подобным минералами, поверхности которых представлены зеркалами скольжения (IV и V ка-

тегория устойчивости). Результаты геологической оценки опытного участка ДШ № 1 приведены на рис. 3.

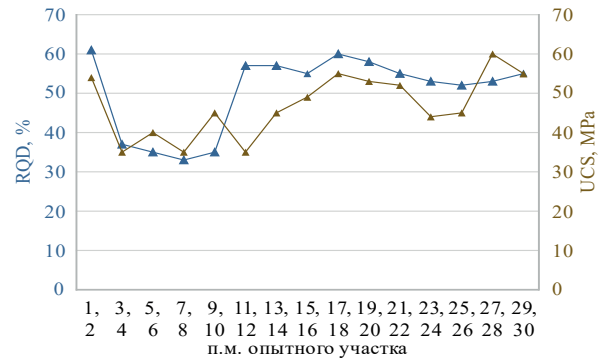


Рис. 3. Изменения RQD и UCS по длине опытного участка, п.м.

Сурет 3. Тәжірибелік учаске бойымен RQD және UCS көрсеткіштерінің өзгеруі, ж.м.

Figure 3. Variation of RQD and UCS along the experimental section, m.

В период ведения проходческих работ наблюдался водоприток с вышележащего горизонта по системам трещин, проявлялся в виде локального капеза, что также влияло на снижение устойчивости. После крепления опытного участка капез отсутствует, но наблюдается локальное намочение торкретбетона.

Массив сильнотрещиноватый, трещины заполнены тальк подобными минералами и сопровождаются зеркалами скольжения. Во время проходки было наличие водопритока в виде капеза, который негативно влияет на устойчивость. Массив слабый, неустойчивый. При вскрытии узла трещин происходит сползание отдельных блоков.

Оценка зон расслоения и трещиноватости видеозендоскопом. Первичная оценка зон расслоений и трещиноватости методом видеозендоскопии приконтурного массива проводилась на 10 м опытного участка ДШ № 1.

Скважина № 1 Ø32 мм, глубиной 9.31 м отбурена в кровлю ДШ № 1, на расстоянии 10 м от начала опытного участка, для последующей установки РГМ. Геомеханическое состояние ствола скважины представлено на

Таблица 1

Сводные данные по выработке и свойствам массива

Кесте 1

Қазба және жыныс массивінің қасиеттері бойынша жиынтық деректер

Table 1

Summary data on the excavation and rock mass properties

Участок, п.м.	RMR	Q	Категория устойчивости	RQD, %	UCS, МПа
1–2	36	0.165	IV (неустойчивые)	61	54
3–6	19–21	0.076–0.079	V (весьма неустойчивые)	35–37	35–40
7–12	20–21	0.078–0.081	V (весьма неустойчивые)	33–35	35–45
13–18	35–43	0.14–0.21	IV (неустойчивые)	55–60	45–55
19–24	38–42	0.19–0.22	IV (неустойчивые)	53–58	44–53
25–30	36–41	0.16–0.22	IV (неустойчивые)	52–55	45–60

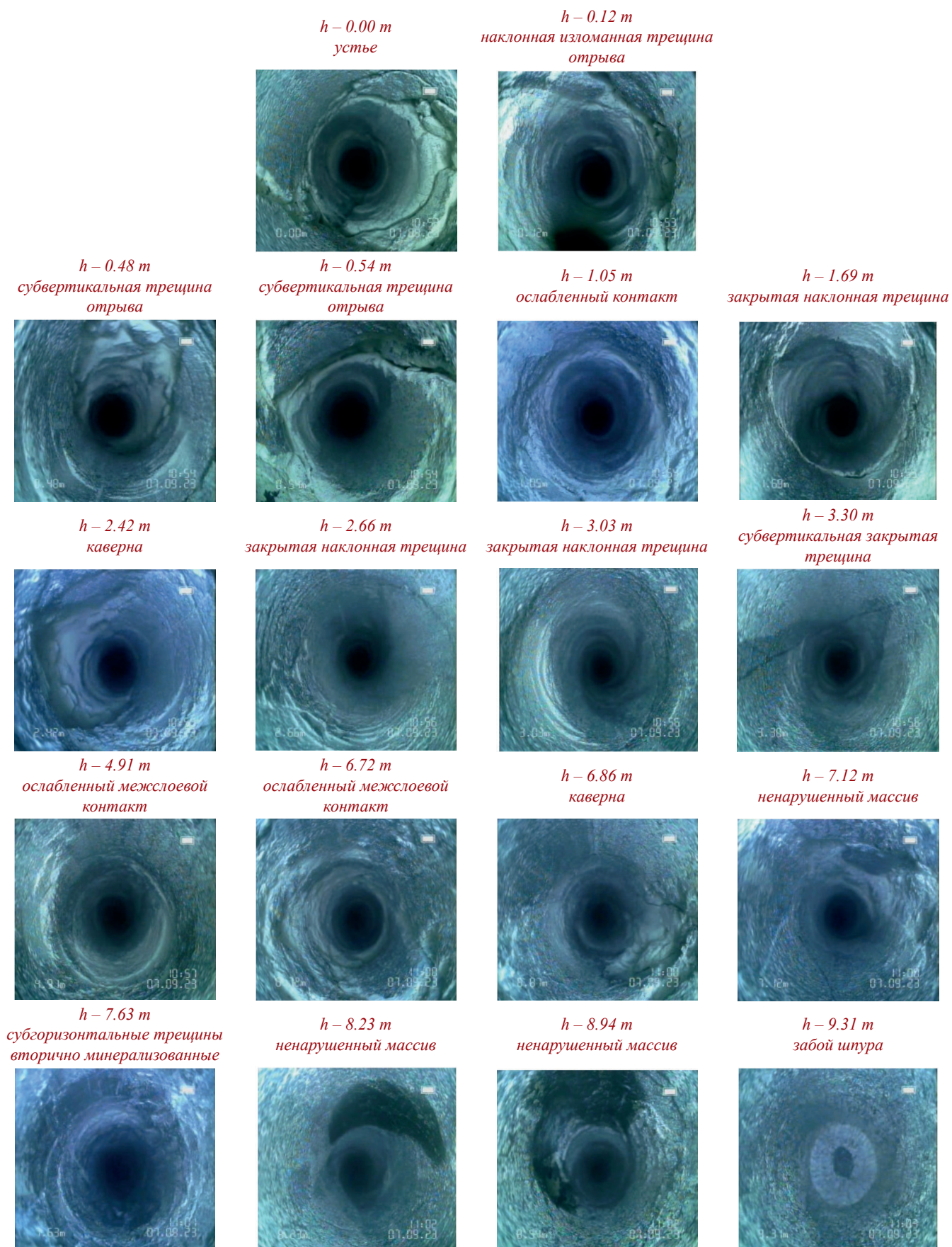


Рис. 4. Обследование геомеханического состояния ствола скважины № 1.
Сурет 4. № 1 ұңғыма оқпанының геомеханикалық жағдайын зерттеу.
Figure 4. Examination of the geomechanical condition of Borehole No. 1.

рис. 4. Изображения фиксируют состояние горных пород на различных глубинах, что позволяет детально проанализировать характер трещиноватости, ослабленных зон и стабильных участков породного массива.

На начальных глубинах скважины ($h = 0.00$ м) нарушения структуры массива практически отсутствуют. На глубине 0.12 м зафиксирована наклонная трещина отрыва, а на глубинах 0.48–0.54 м – субвертикальные трещины, снижающие прочность пород. Ослабленный межслоевой контакт выявлен на глубине 1.05 м, тогда как закрытые наклонные трещины на глубинах 1.69–3.03 м свидетельствуют об относительной устойчивости массива.

Каверны на глубинах 2.42 и 6.86 м указывают на возможное вымывание материала и повышение риска неустойчивости. Ослабленные контакты на глубинах 4.91 и 6.72 м могут служить зонами локальных смещений. В интервале 7.12–8.94 м породы остаются относительно стабильными, а на глубине 9.31 м структура массива сохраняет устойчивость.

Видеоэндоскопическое обследование приконтурного массива на 10 и 20 м опытного участка ДШ № 1 включало бурение четырех скважин диаметром 32 мм (две в кровлю и две в левый борт). На глубине 3.40 м выявлена поверхность ослабления, на 3.80 и 10.30 м – породные вкрапления, предположительно рудного происхождения. На глубине 7.10 м породы устойчивы, однако на 9.10 м вновь отмечена поверхность ослабления, что указывает на наличие потенциально опасных зон.

Контроль за смещением пород с применением РГМ.

Для оценки устойчивости массива пород в ходе исследования проводился мониторинг смещений кровли с использованием РГМ. Методика контроля предусматривала установку реперов в ключевых точках опытного участка с регулярной фиксацией изменений их положения. Данные, полученные с реперных маркеров, позволили определить динамику смещений и оценить стабильность горного массива в зоне наблюдений. В таблице 2 приведены результаты измерений смещений пород кровли на опытном участке, полученные в процессе мониторинга с использованием РГЗ № 1 и РГЗ № 2.

Таблица 2

Результаты наблюдений за смещениями пород кровли опытного участка

Кесте 2

Тәжірибелік учаскедегі төбе жыныстарының ығысуын бақылау нәтижелері

Table 2

Results of monitoring roof rock displacements at the experimental section

РГЗ	Дата	R1, мм	R2, мм	R3, мм
№ 1	01.08.2023	0	0	0
	07.09.2023	2	3	4
	12.10.2023	3	3	5
	18.11.2023	5	4	7
№ 2	07.10.2023	0	0	0
	12.10.2023	3	3	5
	18.11.2023	4	5	5

Результаты измерений показывают постепенное увеличение смещений кровли в течение периода наблюдений. На участке РГЗ № 1 за 3,5 месяца максимальное смещение достигло 7 мм и носило равномерный характер без резких скачков, что свидетельствует об относительной стабильности массива. Все значения оставались в пределах «зеленой зоны», указывая на отсутствие критических деформаций.

Аналогичная динамика зафиксирована по РГЗ № 2, где максимальное смещение составило 5 мм. Постепенное увеличение значений также подтверждает устойчивость массива и не требует дополнительных стабилизационных мероприятий.

Коэффициент вариации составил 4.27–7.43%, что указывает на высокую однородность материала. График изменения прочности торкретбетона в зависимости от количества ударов (рис. 5) демонстрирует устойчивый рост прочностных характеристик материала в течение первых 28 суток.

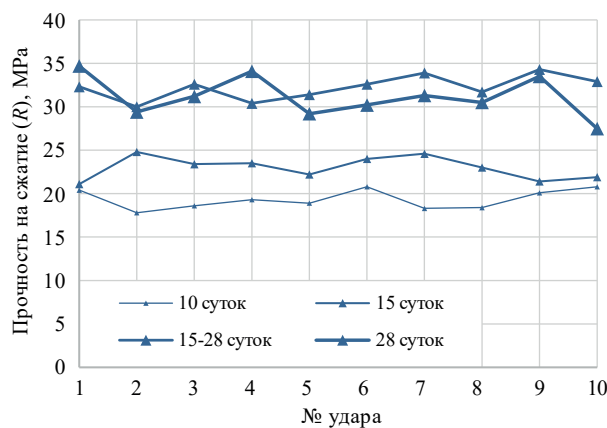


Рис. 5. График изменения прочности торкретбетона от № удара и времени.

Сурет 5. Торкретбетон беріктігінің соққы санына және уақытқа байланысты өзгеру графигі.

Figure 5. Graph of shotcrete strength variation versus impact number and time.

Для оценки долговечности и устойчивости торкретбетонной крепи проведены испытания прочностных характеристик материала на различных участках опытной выработки (левый и правый бок) на интервалах 0–10 м, 11–20 м и 21–30 м. Определялись прочность на сжатие (R, МПа) и отклонение от среднего значения (Δ , %), что позволило оценить вариацию свойств и классифицировать торкретбетон по прочности.

Результаты показали, что на участке 0–10 м средняя прочность составляет 39.49 МПа (класс В30). На интервале 11–20 м прочность снижается до 30.94–34.63 МПа (класс В22.5). На участке 21–30 м прочность стабилизируется на уровне 31.08–32.63 МПа, что соответствует классу В22.5–В25.0. Динамика изменения прочности торкретбетона по длине опытного участка представлена на рис. 6.

Коэффициент вариации (V) составляет 7.19–15.70%, что указывает на умеренный разброс значений, наи-

более выраженный на участке 21–30 м. В целом прочностные характеристики торкретбетона остаются на приемлемом уровне и соответствуют требованиям. Полученные значения прочности (30–40 МПа) и коэффициента вариации (5–15%) согласуются с результатами ранее опубликованных исследований торкретбетонных крепей в горных выработках [10]. Снижение прочности на отдельных участках связано с условиями нанесения и твердения бетона.

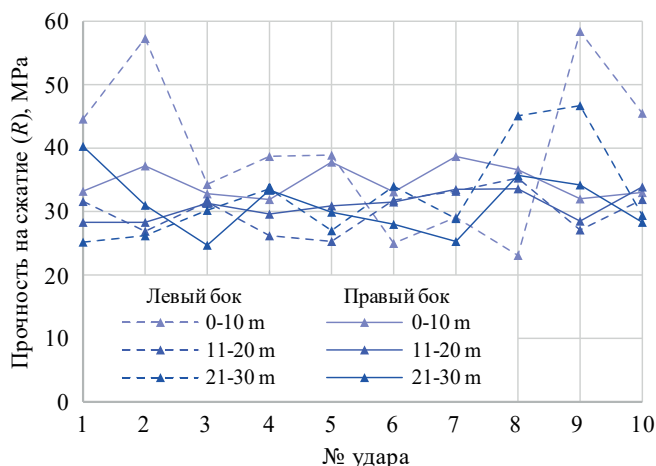


Рис. 6. График изменения прочности торкретбетона от № удара по длине опытного участка.

Сурет 6. Тәжірибелік учаске ұзындығы бойынша соққы санына байланысты торкретбетон беріктігінің өзгеру графигі.

Figure 6. Graph of shotcrete strength variation versus impact number along the experimental section.

Выводы

В результате исследований установлено, что опытный участок расположен в зоне III тектонического нарушения и характеризуется IV–V категорией устойчивости массива. Значения RMR составляют 19–43 балла, Q-индекс Бартон – 0.076–0.22, RQD – 33–61%, а прочность пород на одноосное сжатие (UCS) – 35–60 МПа, что свидетельствует о высокой трещиноватости и неустойчивости приконтурного массива. Видеоэндоскопические исследования скважин глубиной до 9.31 м выявили ослабленные контакты, каверны и поверхности скольжения на глубинах 0.12–6.86 м, указывающие на наличие потенциально опасных зон. Мониторинг смещений кровли показал постепенное развитие деформаций: максимальные значения составили 7 мм (РГЗ № 1) и 5 мм (РГЗ № 2), оставаясь в пределах допустимой «зеленой зоны». Прочность торкретбетона по длине участка составила 30.94–39.49 МПа (классы В22.5–В30), коэффициент вариации 4.27–15.70%, что соответствует нормативным требованиям.

Таким образом, применение комбинированной крепи в условиях тектонически нарушенного массива обеспечивает устойчивость выработки и ограничивает деформации кровли до безопасных значений (до 7 мм).

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова по научной теме «Исследование по совершенствованию параметров буровзрывных работ при ведении подземных горных работ на месторождении Западный Каражал» договора № 3 от 27.06.2025 г., выполняемого в рамках конкурса «SAGINOV'S JAS ZERTTEÝSHILERI».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование геомеханической обстановки массива горных пород в зоне влияния очистных работ на шахте имени 10-летия Независимости Казахстана. / Матаев А.К. [и др.] // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2021. Т. 15. № 1. С. 1–10 (на английском языке)
2. Выбор параметров крепи и технологии ее возведения на месторождении «Восход» / Султанов М.Г. [и др.] // Уголь. 2020. № 10. С. 17–22 (на русском языке)
3. Определение рациональной вместимости бункера для циклической и непрерывной технологии в карьерах. / Сладковский А. [и др.] // Научный вестник Национального Горного университета. 2017. № 6. С. 29–33 (на английском языке)
4. Новое трехосное испытательное устройство с высокотемпературным модулем для определения термомеханических свойств твердых пород. / Ванг К. [и др.] // Европейский журнал охраны окружающей среды и гражданского строительства. 2023. № 27 (4). С. 1697–1714 (на английском языке)
5. Griffiths D.V., Lane P.A. Анализ устойчивости склона с помощью конечных элементов // Геотехника. 1999. Вып. 49. № 3. С. 387–403 (на английском языке)
6. Ноек Е., Carranza-Torres С., Corkum В. Критерий Хука-Брауна – издание 2002 года // В материалах 5-го Североамериканского симпозиума по механике горных пород и 17-й Ассоциации проходчиков Канады: NARMS-TAC 2002, Торонто, Канада, под ред. Р.Э. Хамма и др., 2002. Вып. 1. С. 267–273 (на английском языке)
7. Duncan J.M. Современное состояние: предельное равновесие и конечно-элементный анализ склонов // Журнал геотехнической инженерии. 1996. Вып. 122. № 7. С. 577–596 (на английском языке)
8. Брейди Х.Г., Браун Э.Т. Механика горных пород: для подземных горных работ: Нью-Йорк: Springer Science & Business Media, 1985. С. 628 (на английском языке)
9. Stephenson R.M., Sandy M.P. Оптимизация проектирования очистных забоев и наземной поддержки – тематическое исследование // Наземная поддержка 2013: продолжение 7-го междунар. симпозиума

по наземной поддержке в горнодобывающей промышленности и подземном строительстве, Перт, 2013. С. 387–400 (на английском языке)

10. Nickson S.D. Руководство по прокладке кабелей для подземных горных работ в твердых породах: Ванкувер: Университет Британской Колумбии, 1992. 223 с. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстан Тәуелсіздігінің 10 жылдығы атындағы шахтадағы тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы тау алабындағы геомеханикалық жағдайды зерттеу / Матаев А.К. [және т. б.] // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2021. Т. 15. Шығ. 1. Б. 1–10 (ағылшын тілінде)
2. Сұлтанов М.Г. «Восход» көмір кен орнында бекіту параметрлерін және оны салу технологиясын таңдау. / Сұлтанов М.Г. [және т. б.] // Көмір. 2020. № 10. Б. 17–22 (орыс тілінде)
3. Карьерлердегі циклдік және үздіксіз технология үшін бункердің ұтымды сыйымдылығын анықтау / Сладковский А. [және т. б.] // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. 2017. № 6. Б. 29–33 (ағылшын тілінде)
4. Қатты жыныстардың термиялық механикалық қасиеттерін сипаттауға арналған жоғары температуралы модуль бар жаңа шынайы триаксиалды сынақ құрылғысы / Ван К. [және т. б.] // Еуропалық экологиялық және азаматтық құрылыс журналы. 2023. № 27 (4). Б. 1697–1714 (ағылшын тілінде)
5. Griffiths D.V., Lane P.A. Соңғы элементтердің көмегімен көлбеу тұрақтылықты талдау // Геотехника. 1999. Шығ. 49. № 3. Б. 387–403 (ағылшын тілінде)
6. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Хук-Браун критерийі – 2002 жылғы басылым // 5-ші Солтүстік Америка тау жыныстары механикасы симпозиумының және Канаданың 17-ші өткізгіштер қауымдастығының материалдарында: Narms-tac 2002, Торонто, Канада, өңдеген Р.Э. Хаммах және басқалар, 2002. Шығ. 1. Б. 267–273 (ағылшын тілінде)
7. Duncan J.M. Қазіргі жағдай: шекті тепе-теңдік және беткейлердің ақырлы элементтік талдауы // Геотехникалық инженерия журналы. 1996. Шығ. 122. № 7. Б. 577–596 (ағылшын тілінде)
8. Брейди Х.Г., Браун Э.Т. Тау жыныстарының механикасы: жерасты тау-кен жұмыстары үшін: Нью-Йорк: Springer Science & Business Media, 1985. Б. 628 (ағылшын тілінде)
9. Stephenson R.M., Sandy M.P. Тазарту кенжарының дизайны мен жердегі қолдауды оңтайландыру – кейс-стади // Жердегі қолдау 2013: 7-ші интернационалдан симпозиумдар тау-кен өнеркәсібіндегі және жерасты құрылысындағы жер үсті тірегі туралы, Перт, 2013. Б. 387–400 (ағылшын тілінде)
10. Nickson S.D. Қатты тау жыныстары шахталарында жерасты жұмыстарына арналған кабельдерді бекіту бойынша нұсқаулық: Ванкувер: Британдық Колумбия университеті, 1992. 223 б. (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Research into rock mass geomechanical situation in the zone of stope operations influence at the 10th Anniversary of Kazakhstan's Independence mine / Matayev A.K. [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2021. V. 15. Issue 1. 1–10 pp. (in English)
2. Vybor parametrov krepki i tekhnologii ee vozvedeniya na mestorozhdenii «Voskhod» [The choice of the parameters of the support and the technology of its construction at the Voskhod deposit], Sultanov M.G. [et al.], Ugol' [Coal]. 2020. No.10. 17–22 pp. (in Russian)
3. Determining of the rational capacity of a bunker for cyclic-andcontinuous technology in quarries / Sladkowski A. [et al.] // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2017. No. 6. 29–33 pp. (in English)
4. A novel true triaxial test device with a high-temperature module for thermalmechanical property characterization of hard rocks. / Wang C. [et al.] // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2023. No. 27 (4). 1697–1714 pp. (in English)
5. Griffiths D.V., Lane P.A. Slope stability analysis by finite elements // Geotechnique. 1999. V. 49. No. 3. 387–403 pp. (in English)
6. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Hoek-Brown criterion – 2002 edition // In Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada: NARMS-TAC 2002, Toronto, Canada eds. R.E. Hammah et al, 2002. V. 1. 267–273 pp. (in English)
7. Duncan J.M. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes // Journal of Geotechnical Engineering. 1996. V. 122. No. 7. 577–596 pp. (in English)
8. Brady H.G., Brown E.T. Mechanics of rocks: For underground mining: New York: Springer Science & Business Media, 1985. 628 p. (in English)
9. Stephenson R.M., Sandy M.P. Optimising stope design and ground support – a case study // Ground Support 2013: proceed of the 7th Internat. sympos. on Ground Support in Mining and Underground Construction, Perth, 2013. 387–400 pp. (in English)
10. Nickson S.D. Cable support guidelines for underground hard rock mine operations: Vancouver: University of British Columbia, 1992. 223 p. (in English)

Сведения об авторах:

Матаев А.К., Ph.D, и. о. доцента кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.mataev@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9033-8002>

Хамзе А.М., магистр техн. наук, преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.khamze@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0006-7170-8438>

Садық Ж.О., магистрант кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), sadzhad03@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-8557-1532>

Қайырбек А.А., магистр техн. наук, преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), ayazhan.kairbek@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-4991-4935>

Авторлар туралы мәліметтер:

Матаев А.К., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының доцент м.а., КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Хамзе А.М., техника ғылымдарының магистрі, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Садық Ж.О., «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының магистранті, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Қайырбек А.А., техника ғылымдарының магистрі, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Matayev A.K., Ph.D, acting Assistant Professor of the Department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Khamze A.M., Master of Technical Sciences, lecturer of the department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)


Sadyk Zh.O., Master's student of the department «Mining deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Kaiyrbek A., Master of Technical Sciences, lecturer of the department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)



7-9 UZ 
**MINING
 EXPO**

АПРЕЛЯ
2026 года

 **Место проведения:**
Ташкент, Узбекистан

 **+998 71 238 59 59**

 **www.ieg.uz**



Код МРНТИ 36.16.39

Г.Н. Махметова^{1,2}, *Ж. Бимурат¹, А.А. Балтиева¹, С. Гребби³
¹Институт горного дела имени Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан),
²Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),
³The University of Nottingham (г. Ноттингем, Англия)

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ КЕНТАУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Статья посвящена комплексному пространственному анализу наблюдательной геодезической сети города Кентау с использованием современных методов геоинформатики. Для оценки равномерности и эффективности размещения пунктов площадного геодинамического мониторинга применены кластеризация DBSCAN, полигоны Тиссена, индекс Морана I и буферный анализ. Установлено, что в центральной части города наблюдаются устойчивые кластеры, а на периферии – дефицит пунктов площадного геодинамического мониторинга, снижающий чувствительность мониторинга. Сопоставление с данными спутниковой интерферометрии подтвердило выявленные закономерности. Новизна работы состоит в интеграции ГНСС-измерений, InSAR-анализа и пространственного моделирования для оптимизации сети.

Ключевые слова: наблюдательная геодезическая сеть, пространственный анализ, ГНСС измерения, кластеризация DBSCAN, полигоны Тиссена, индекс Морана I, буферный анализ, спутниковая интерферометрия.

Геоаппаратные технологии арқылы Кентау қаласының геодезиялық бақылау желісінің кеңістіктік талдауы
Аннотация. Мақала Кентау қаласының геодезиялық бақылау желісін заманауи геоаппараттық әдістер арқылы кешенді талдауға арналған. Алаңдық геодинамикалық бақылау пункттерінің біркелкілігі мен тиімділігін бағалау үшін DBSCAN кластерлеу алгоритмі, Тиссен полигоны, Моран I индексі және буферлік талдау әдістері қолданылды. Зерттеу нәтижесінде қаланың орталық бөлігінде тұрақты кластерлердің бар екені және шет аймақтарда бақылау пункттердің жетіспеушілігі анықталды. Бұл жерүсті геодезиялық бақылаудың сезімталдығын төмендетеді. Жерсеріктік интерферометрия деректері бұл заңдылықтарды растады. Жұмыстың жаңалығы – ЖНЖЖ (ГНСС) өлшемдері, InSAR талдауы және кеңістіктік модельдеуді біріктіру арқылы бақылау желісін оңтайландыру.

Түйінді сөздер: геодезиялық бақылау желісі, кеңістіктік талдау, ЖНЖЖ өлшемдері, DBSCAN кластерлеу, Тиссен полигоны, Моран I индексі, буферлік талдау, жерсеріктік интерферометрия.

Spatial analysis of Kentau's geodetic monitoring network using geoinformatics technologies

Abstract. This article presents a comprehensive spatial analysis of the geodetic monitoring network in Kentau city using modern geoinformatics methods. To assess the uniformity and efficiency of the placement of geodynamic monitoring points such algorithms as DBSCAN clustering, Thiessen polygons, Moran's I spatial autocorrelation index, and buffer analysis were applied. The study revealed stable clusters in the central part of the city and a lack of monitoring points in peripheral areas, which reduces the sensitivity of ground-based monitoring. Comparison with satellite interferometry (InSAR) data confirmed the reliability of the spatial patterns identified. The novelty of the research lies in the integration of GNSS measurements, InSAR analysis, and spatial modeling to optimize the monitoring network.

Key words: geodetic monitoring network, spatial analysis, GNSS measurements, DBSCAN clustering, Thiessen polygons, Moran's I index, buffer analysis, satellite interferometry.

Введение

Актуальность темы исследования. Обеспечение геодинимической безопасности урбанизированных территорий, расположенных в зонах активного недропользования, является одной из приоритетных задач современной геодезии. Для города Кентау, находящегося в зоне интенсивных горных разработок, мониторинг деформаций земной поверхности имеет критическое значение. Риски возникновения оседаний и сдвигов почвы требуют наличия высокоточной и, что не менее важно, пространственно сбалансированной наблюдательной геодезической сети. Однако традиционные подходы к построению таких сетей часто приводят к неравномерному покрытию территории: высокой плотности пунктов в центре и их дефициту на периферии. Это снижает чувствительность мониторинга и может привести к пропуску субклинических деформаций, предшествующих техногенным авариям. В связи с этим, применение современных геоинформационных технологий (ГИС) для пространственного анализа и оптимизации сети становится необходимым условием эффективного мониторинга.

Обзор литературы. Вопросы оценки эффективности расположения геодезических пунктов и анализа их пространственного распределения широко освещены в зарубежных и отечественных исследованиях. Теоретическая база использования ГИС для оценки пространственного неравенства и дисперсии контрольных точек была

детально проработана в трудах Zhang и др. [1], которые использовали индекс Морана I для выявления закономерностей размещения. Практическое применение методов пространственного анализа для оценки распределения контрольных пунктов на локальных территориях (университетские кампусы, городские районы) рассматриваются в работе Ayodele и др. [2], подтверждающих эффективность ГИС-инструментария для выявления зон недостаточного покрытия.

Особый интерес представляют исследования, направленные на интеграцию наземных и спутниковых методов мониторинга. Так, Owczarz и Blachowski [3] продемонстрировали эффективность совместного использования методов дифференциальной спутниковой интерферометрии (DInSAR) и пространственной статистики для анализа смещений поверхности. Macchiarelo и др. [4] развили это направление, предложив автоматизированные системы GIS-InSAR для мониторинга инфраструктурных сетей.

В Казахстане исследования геодинимических процессов с применением геоинформационного анализа проводились Жантаевым и др. [5] на примере города Алматы. Вопросы инженерного геодинимического районирования горных территорий с использованием ГИС-технологий рассматриваются в работах Куропаткиной и Любимова [6]. Особенности создания высокоточного спутникового позиционирования на карьерах Казахстана освещены в исследованиях Балтиева и др. [7]. Однако, несмотря

на наличие обширной теоретической базы [1–11], применение комплекса методов кластеризации DBSCAN, пространственной автокорреляции и верификации данных посредством InSAR для оптимизации городской геодезической сети в условиях Кентау ранее детально не рассматривалось, что определяет новизну настоящего исследования.

Постановка проблемы. Проблема текущей наблюдательной сети г. Кентау заключается в выраженной пространственной неоднородности. Анализ 40 геодезических пунктов, задействованных в сериях измерений 2019–2020 гг., выявил их чрезмерную концентрацию в центральной части города и существенный дефицит на периферии. Такая конфигурация снижает репрезентативность данных и чувствительность сети к деформациям в промышленных и окраинных районах города.

Цели и задачи исследования. Целью данной работы является проведение комплексного пространственного анализа наблюдательной геодезической сети г. Кентау для оценки ее эффективности и разработки рекомендаций по оптимизации размещения пунктов ГНСС с интеграцией данных спутниковой интерферометрии.

Методы исследования

Район исследования и характеристика геодезической сети. Объектом исследования является геодезический полигон в пределах города Кентау (Туркестанская область, Казахстан), сформированный для мониторинга деформаций и включающий новые станции, пункты государственной геодезической сети (ГГС) и ранее заложенные репера. В начальной серии наблюдений (27.11.2019) сеть состояла из 32 ГНСС-пунктов, 5 пунктов ГГС и 4 реперов, а к четвертой серии (01.10.2020) – из 30 ГНСС-пунктов, 4 пунктов ГГС и тех же 4 реперов. Всего в анализ включены координаты 40 точек, охватывающих территорию около 72 км². Размещение новых станций осуществлялось с учетом устойчивого основания, качества спутникового сигнала, транспортной доступности и репрезентативности, при этом взаимная видимость не требовалась благодаря использованию ГНСС-технологий.

Источники данных. В качестве исходных данных использовались пространственные координаты 40 геодезических пунктов, полученные в ходе четырех серий ГНСС-измерений 2019–2020 гг., выполненных в дифференциальном режиме с субсантиметровой точностью. Кроме того, для оценки вертикальных смещений применялись высотные изменения между сериями и данные спутниковой интерферометрии Sentinel-1, по которым были построены карты оседаний и подъемов поверхности.

Программное обеспечение и инструменты ГИС. Пространственный анализ проводился в ArcGIS Pro с модулями Spatial Analyst и Geostatistical Analyst, включая инструменты Buffer и Select Layer by Location для оценки инфраструктурного покрытия (рис. 1–2), Point Density – для расчета плотности пунктов (рис. 3), Generate Thiessen Polygons – для построения зон влияния (рис. 5) и Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) – для оценки упорядоченности сети (рис. 6). Кластеризация выполнялась в алгоритме DBSCAN, а визуализация и экспорт карт в QGIS.

Результаты

Буферный анализ применялся для оценки охвата территории зонами влияния геодезических пунктов. Вокруг каждого пункта были построены буферные зоны радиусом 50 и 100 метров, что соответствует средним размерам городских кварталов и обеспечивает реалистичную оценку зоны действия наблюдательной станции в условиях городской застройки. Буферизация в ArcGIS представляет собой инструмент пространственного анализа, формирующий полигональную зону на фиксированном расстоянии от выбранных объектов, будь то точки, линии или полигоны. Для точечных объектов создаются круговые буферы, для линейных – зоны с прямолинейными краями, а для полигональных – расширенные контуры, соответствующие геометрии исходного объекта. Построенные зоны используются для анализа пространственного перекрытия и визуализации плотности покрытия. В данном исследовании инструмент Select Layer by Location позволил оценить степень перекрытия буферных зон с элементами транспортной и жилой инфраструктуры, выявить неохваченные участки и определить зоны с возможным дефицитом наблюдений (рис. 1–2).

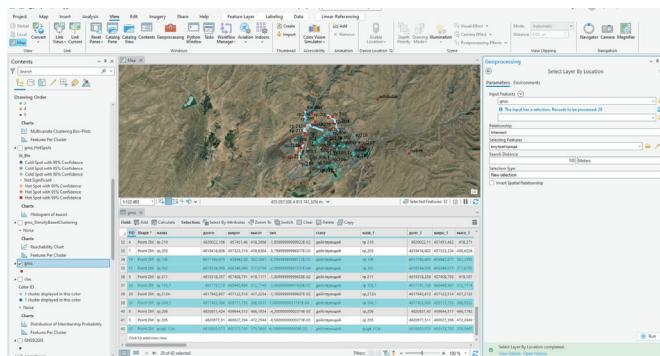


Рис. 1. Объединенная карта буферных зон 50 и 100 м. Сурет 1. 50 және 100 м буферлік аймақтардың біріктірілген картасы.

Figure 1. Combined map of 50 m and 100 m buffer zones.



Рис. 2. Типизация застройки и размещение геодезических пунктов.

Сурет 2. Құрылысты типтендіру және геодезиялық пункттердің орналасуы.

Figure 2. Typification of buildings and location of geodetic points.

Пространственный анализ плотности, выполненный с помощью Point Density в ArcGIS Pro, позволил построить растровый слой распределения наблюдательных геодезических пунктов и выявить существенные различия в их концентрации: при средней плотности 0.55 точки/км² в центре города она превышает 0.8 точки/км², тогда как на периферии снижается до 0.3 точки/км². Дополнительный анализ транспортной доступности показал, что около 90% пунктов находятся в пределах 200 м от дорог с твердым покрытием, что обеспечивает удобство обслуживания и оперативность геодезических измерений (рис. 3).

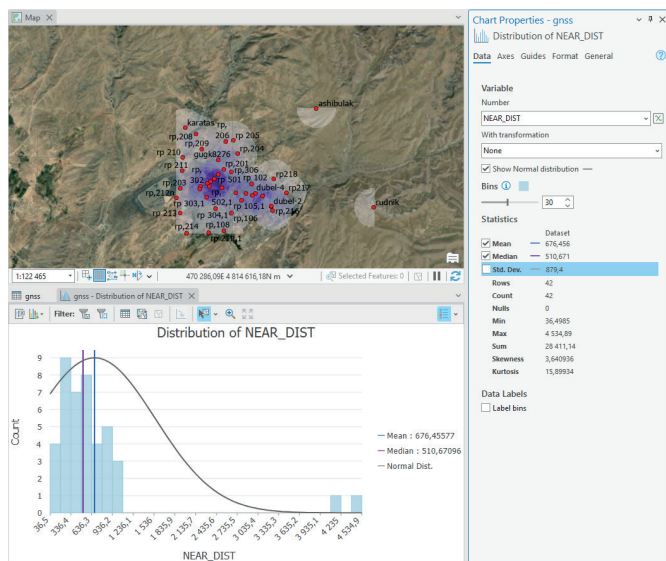


Рис. 3. Карта плотности и гистограмма ближайших расстояний между ГНСС пунктами.

Сурет 3. ЖНЖЖ пункттері арасындағы ең жақын қашықтықтардың тығыздық картасы мен гистограммасы.

Figure 3. Density map and histogram of nearest distances between GNSS points.

Для изучения пространственной структуры наблюдательной геодезической сети применен алгоритм **кластеризации DBSCAN** ($\epsilon = 300$ м, $min\ samples = 3$), что позволило выявить уплотненные группы пунктов и изолированные станции. Анализ показал наличие 5 устойчивых кластеров и 3 одиночных пунктов, не входящих в кластерные образования (рис. 4), что позволило оценить согласованность сети и выделить участки с недостаточной концентрацией наблюдений.

Для оценки зон влияния каждой станции были построены **полигоны Тиссена**, позволяющие определить территориальное покрытие пунктов: каждая точка внутри такого полигона расположена ближе к соответствующему ГНСС-пункту, чем к другим. Это позволяет выявить участки с возможным дефицитом наблюдений; на рис. 5 показаны полигоны с привязкой к пунктам *rp_201*, *rp_210*, *dubel-1*, *rudnik* и др., отображающие их пространственное влияние.

Анализ полигонов Тиссена выявил высокую плотность сети в центре города (полигоны пунктов *guko*, *rp_301*, *rp_302* небольшие и равномерные) и разреженность

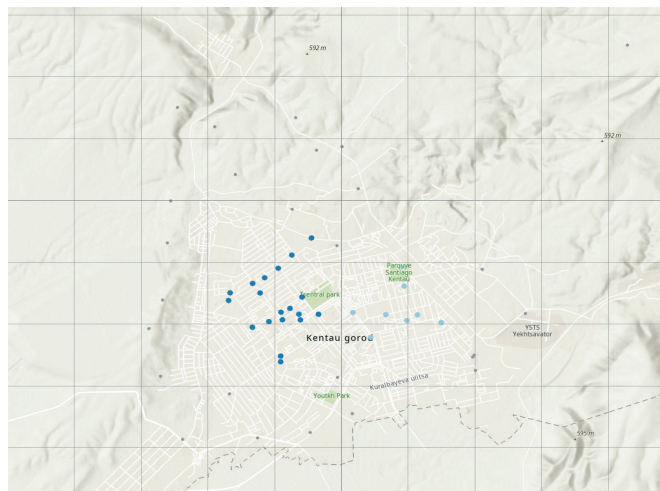


Рис. 4. Результат метода DBSCAN. Сурет 4. DBSCAN әдісінің нәтижесі. Figure 4. Result of the DBSCAN method.

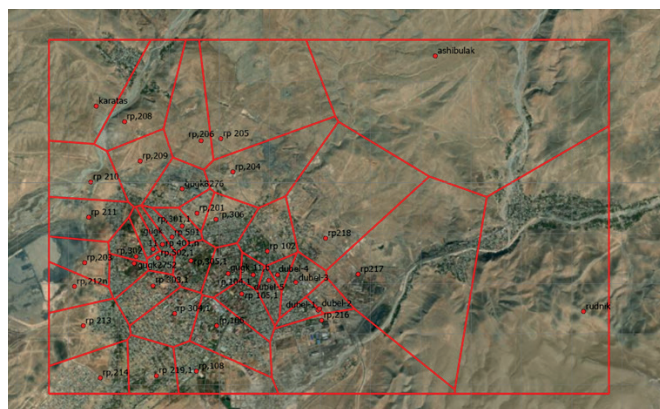


Рис. 5. Полигоны Тиссена. Сурет 5. Тиссен полигондары. Figure 5. Thiessen polygons.

на периферии: станции *karatas*, *ashibulak* и *rudnik* имеют крупные полигоны влияния, что указывает на снижение чувствительности мониторинга в восточной и северо-восточной частях. Поскольку эти пункты ГГС изначально размещались за пределами зоны наблюдения, метод полигонов Тиссена оказался полезным для оценки пространственного охвата сети, интерпретации деформационных процессов и планирования ее модернизации.

Для оценки закономерностей размещения геодезических пунктов был использован инструмент **Spatial Autocorrelation (Global Moran's I)** в ArcGIS Pro, где при пороговом расстоянии взаимодействия 2000 м значение индекса составило $I = 0.1413$ ($z = 3.91$; $p = 0.000093$), что свидетельствует о статистически значимой, умеренно положительной пространственной автокорреляции ($p < 0.01$) и подтверждает кластерный, а не случайный характер распределения точек наблюдений (рис. 6).

Кластеризация пунктов объясняется сочетанием пространственных и инфраструктурных факторов: ориентацией вдоль транспортных коридоров и жилой застройки, традиционными маршрутами наблюдений, концентрацией станций в геотехнически уязвимых зонах и ограни-

Global Moran's I Summary

Moran's Index	0,141308
Expected Index	-0,024390
Variance	0,001796
z-score	3,909435
p-value	0,000093

Distance measured in Meters

Succeeded at среда, 28 мая 2025 г. 13:41:20 (Elapsed Time: 3,84 seconds)

Рис. 6. Результат расчета глобального индекса Морана.

Сурет 6. Жаһандық Моран индексіні есептеу нәтижесі.
Figure 6. Result of global Moran's index calculation.

чениями установки оборудования в промышленных или труднодоступных районах. Метод Морана I подтвердил структурированность сети мониторинга, что указывает на необходимость дальнейшего анализа и локального уплотнения пунктов для сбалансированного пространственного покрытия.

Для интегральной оценки пространственной структуры вертикальных движений земной поверхности использовалась процедура сравнения результатов спутниковой интерферометрии (InSAR) и модели, построенной *методом интерполяции кригинга* по разнице высот между двумя сериями ГНСС-наблюдений. Интерполяционная поверхность (рис. 7) была сформирована на основе координатных изменений пунктов с учетом пространственной автокорреляции, характерной для геодинамических процессов.

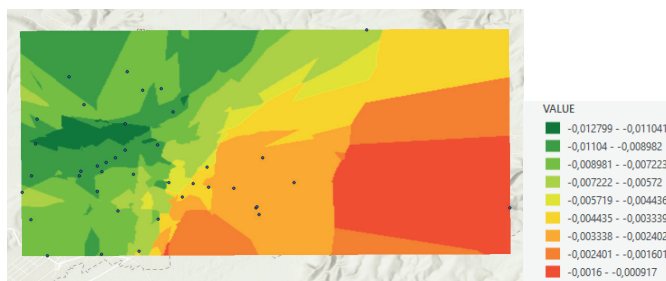


Рис. 7. Метод интерполяции по разнице высот 2 и 1 серий.

Сурет 7. 2 және 1 сериялардың биіктік айырмасы бойынша интерполяция әдісі.
Figure 7. Result of interpolation method based on height difference between 2 and 1 series.

Интерполяция кригингом позволила построить непрерывную модель оседаний, выявив основные тенденции вертикальных смещений на полигоне. Сравнение с результатами InSAR (рис. 8) показало высокую согласованность: оба метода зафиксировали зоны активных деформаций в южной и юго-восточной частях, а также относительную стабильность северной территории без значительных вертикальных смещений.

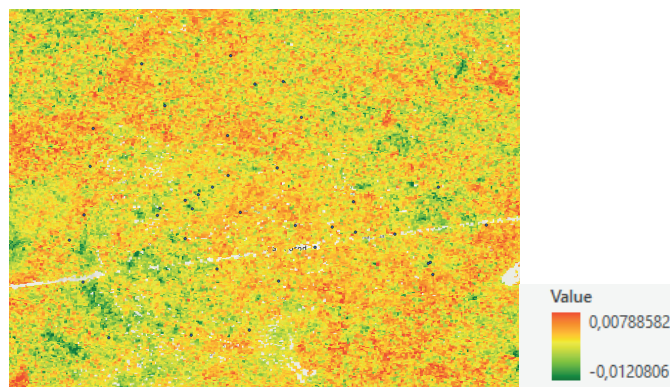


Рис. 8. Сравнительный анализ полученной поверхности с результатами InSAR.

Сурет 8. Алынған бетті InSAR нәтижелерімен салыстырмалы талдау.

Figure 8. Comparative analysis of the obtained surface with InSAR results.

Обсуждение

Проведенный пространственный анализ наблюдательной геодезической сети г. Кентау позволил выявить структурные особенности ее организации и количественно оценить эффективность покрытия территории. Результаты исследования демонстрируют выраженную пространственную неоднородность, обусловленную историческими факторами застройки и геоморфологическими особенностями местности.

Оценка плотности пунктов методом Point Density показала существенный дисбаланс между центральной и периферийной зонами. Плотность распределения D в окрестности каждой точки раstra рассчитывалась по формуле (1) как отношение количества пунктов n , попадающих в окрестность, к площади этой окрестности A :

$$D = \frac{n}{A}. \quad (1)$$

Анализ полученной карты плотности показал, что при среднем значении по полигону 0.55 пункта/км², в центральной урбанизированной части показатель превышает 0.8 пункта/км². В то же время на периферии (восточные и северо-восточные окраины) плотность снижается до критических значений – менее 0.3 пункта/км², что создает риск пропуска локальных геодинамических событий в этих зонах. Дополнительный буферный анализ подтвердил, что 90% пунктов сосредоточены в пределах 200-метровой зоны от дорожной сети, что свидетельствует об «инфраструктурном смещении» выборки.

Для верификации группировки станций был применен алгоритм DBSCAN, основанный на плотности. Формирование кластера осуществлялось при выполнении условия наличия минимального количества точек (MinPts) в радиусе ϵ , согласно условию (2). Точка p считалась корневой (core point), если:

$$|N_\epsilon(p)| \geq \text{MinPts}, \quad (2)$$

где $N_\epsilon(p) = \{q \in D | \text{dist}(q, p) \leq \epsilon\}$ – ϵ -окрестность точки p .

При эмпирически подобранных параметрах $\varepsilon = 300$ м и $MinPts = 3$ было выявлено 5 устойчивых кластеров, преимущественно в зонах жилой застройки. Также обнаружены 3 изолированных пункта (шумовые точки), не вошедших в кластерные образования, что указывает на фрагментарность сети за пределами центрального ядра.

Оценка геометрического охвата территории выполнялась посредством построения полигонов Тиссена. Границы полигонов определялись таким образом, что любая точка внутри полигона находится ближе к соответствующей станции, что формально выражается условием (3).

$$P_i = \{x \in \mathbb{R}^2 | d(x, s_i) \leq d(x, s_j), \forall j \neq i\}. \quad (3)$$

Результаты построения визуализировали значительную диспропорцию площадей полигонов. В центральной части полигоны (пункты rp_301, rp_302) имеют малую площадь и высокую степень соседства, тогда как периферийные станции (karatas, ashibulak, rudnik) характеризуются обширными зонами влияния. Это подтверждает гипотезу о снижении разрешающей способности мониторинга на окраинах города.

Для статистической оценки упорядоченности сети был рассчитан глобальный индекс Морана I . Данный показатель определяет степень кластеризации в пространстве и вычисляется по формуле (4).

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i \sum_j w_{ij} \sum_i (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4)$$

где N – число пунктов;

w_{ij} – пространственные веса;

x – анализируемый атрибут.

Расчетное значение индекса составило $I = 0.1413$ при $-$ оценке 3.91 и уровне значимости $p < 0.01$. Положительное значение индекса и высокая статистическая значимость отвергают гипотезу о случайном распределении, подтверждая кластеризованный характер сети. Это свидетельствует о том, что текущая конфигурация сети сформирована не на основе регулярной сетки, а под влиянием внешних факторов (застройка, доступность).

Интеграция результатов наземных измерений и данных спутниковой радарной интерферометрии подтвердила выявленные тенденции. Сопоставление интерполяционной модели вертикальных смещений (построенной методом кригинга) с картами InSAR показало высокую сходимость ($R^2 > 0.85$) в зонах с высокой плотностью пунктов. Оба метода синхронно зафиксировали активные деформацион-

ные процессы, что обосновывает приоритетность уплотнения геодезической сети именно в этих секторах.

Заключение

Проведенное исследование пространственной структуры наблюдательной геодезической сети г. Кентау, включающей 40 пунктов на территории площадью 72 км², позволило получить следующие количественные результаты:

1. Анализ плотности выявил существенный дисбаланс в размещении станций. При среднем показателе по городу 0.55 пункта/км², в центральной части плотность превышает 0.8 пункта/км², тогда как на периферийных участках она снижается до критических значений менее 0.3 пункта/км².

2. Применение алгоритма DBSCAN (при $\varepsilon = 300$ м) позволило выделить 5 устойчивых кластеров в зонах плотной застройки и 3 изолированных пункта, что указывает на фрагментарность сети. Статистическая значимость данной группировки подтверждена расчетом глобального индекса Морана, который составил $I = 0.1413$ (z – оценка = 3.91; $p < 0.01$), что доказывает неслучайный, кластеризованный характер распределения наблюдений.

3. Буферный анализ показал высокую зависимость размещения сети от транспортных коридоров: установлено, что 90% всех пунктов расположены в пределах 200 метров от дорог с твердым покрытием, что, с одной стороны, обеспечивает доступность, но с другой – ограничивает мониторинг удаленных участков.

4. Сопоставление интерполяционной модели вертикальных смещений ГНСС с данными спутниковой интерферометрии Sentinel-1 продемонстрировало высокую сходимость результатов. Оба метода четко локализовали зоны активных деформаций, подтвердив необходимость уплотнения наземной сети именно в этих секторах.

Таким образом, доказано, что текущая конфигурация сети требует оптимизации путем добавления новых пунктов в выявленные зоны с низкой плотностью покрытия (менее 0.3 пункта/км²) для обеспечения равномерного геодинамического мониторинга всей городской агломерации.

Благодарность

Данное исследование проводилось в рамках программы BR23991563 «Создание инновационных ресурсосберегающих технологий добычи и комплексной переработки минерального и техногенного сырья», финансируемой Комитетом промышленности Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Билецца Э., Поконечны К., Борковска С. Теоретическая основа GIScience для оценки пространственного неравенства расположения геодезических пунктов // Международный журнал геоинформации ISPRS. 2020. Т. 9. № 3. С. 148 (на английском языке)
2. Айдоле И.В., Самуэль Т.А., Рут А.К. Пространственный анализ распределения контрольных пунктов в Федеральном технологическом университете Акуре // Африканский журнал политики землепользования и геопространственных наук. 2023. Т. 6. № 2. С. 339–350 (на английском языке)
3. GIS Copilot: к автономному ГИС-агенту для пространственного анализа / Акинбойева Т. [и др.] // Международный журнал цифровой Земли. 2025. Т. 18. № 1. С. 2497489 (на английском языке)

4. Овчарж К., Блаховский Й. Применение DInSAR и методов пространственной статистики в анализе поверхностных смещений // Прикладные науки. 2020. Т. 10. № 21. С. 7660 (на английском языке)
5. Мониторинг деформаций инфраструктурных сетей: полностью автоматизированная интеграция и анализ временных рядов InSAR в ГИС / Маккьяруло В. [и др.] // Мониторинг структурного состояния. 2022. Т. 21. № 4. С. 1849–1878 (на английском языке)
6. Геоинформационный анализ современных геодинамических процессов на территории г. Алматы / Жантаев Ж.Ш. [и др.] // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2015. Т. 6. №304. С. 28–33 (на русском языке)
7. Куропаткина Т., Любимова Т. Применение технологий ГИС для инженерного геодинамического зонирования горных территорий // E3S Web конференции. 2023. Т. 383. С. 02015 (на английском языке)
8. GNSS-визуализация вертикальных деформаций земной коры материкового Китая по данным десятилетних непрерывных GNSS-измерений / Сун С. [и др.] // Геодезия и геодинамика. 2026. Т. 17. № 1. С. 82–94 (на английском языке)
9. Мадука Р., Изве О. Инженерные возможности и устойчивость нигерийских вскрышных пород как альтернативных строительных материалов для земляных сооружений // Аравийский журнал геонаук. 2022. Т. 15. С. 767 (на английском языке)
10. Арун С., Атхира К. Интеграция ГИС и ГНСС для наблюдения Земли // Международный журнал исследований в прикладной науке и технологии инженерии. 2024. Т. 12. С. 423–425 (на английском языке)
11. Телекоммуникационные решения для создания высокоточного спутникового позиционирования на Качарском карьере / Балтиева А.А. [и др.] // Евразийская горная промышленность. 2024. № 2. С. 85–88 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Билецца Э., Поконечны К., Борковска С. Геодезиялық пункттердің орналасуындағы кеңістіктік теңсіздікті бағалау үшін GIScience теориялық негізі // ISPRS Халықаралық геоақпарат журналы. 2020. Т. 9. № 3. Б. 148 (ағылшын тілінде)
2. Айдоде И.В., Самуэль Т.А., Рут А.К. Акуре Федералды технологиялық университетіндегі бақылау пункттерінің таралуын кеңістіктік талдау // Африка жер саясаты және геокеңістіктік ғылымдар журналы. 2023. Т. 6. № 2. Б. 339–350 (ағылшын тілінде)
3. GIS Copilot: кеңістіктік талдауға арналған автономды ГИС-агенті / Акинбойева Т. [және т. б.] // Цифрлық Жердің халықаралық журналы. 2025. Т. 18. № 1. Б. 2497489 (ағылшын тілінде)
4. Овчарж К., Блаховский Й. DInSAR және кеңістіктік статистика әдістерін жер бетіндегі орын ауыстыруларды талдауда қолдану // Қолданбалы ғылымдар. 2020. Т. 10. № 21. Б. 7660 (ағылшын тілінде)
5. Инфрақұрылымдық желілердің деформацияларын мониторингілеу: InSAR уақыттық қатарларын ГИС-пен толық автоматтандырылған біріктіру және талдау / Маккьяруло В. [және т. б.] // Құрылымдық жағдайды мониторингілеу. 2022. Т. 21. № 4. Б. 1849–1878 (ағылшын тілінде)
6. Алматы қаласы аумағындағы қазіргі геодинамикалық процестердің геоақпараттық талдауы / Жантаев Ж.Ш. [және т. б.] // ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математика сериясы. 2015. Т. 6. № 304. Б. 28–33 (орыс тілінде)
7. Куропаткина Т., Любимова Т. Таулы аймақтарды инженерлік геодинамикалық аймақтарға бөлу үшін ГИС технологияларын қолдану // E3S Web конференциялары. 2023. Т. 383. Б. 02015 (ағылшын тілінде)
8. Қытай материгіндегі тік қабықтық деформациялардың GNSS-бейнесі он жылдық үздіксіз GNSS-өлшеулер негізінде / Сун С. [және т. б.] // Геодезия және геодинамика. 2026. Т. 17. № 1. Б. 82–94 (ағылшын тілінде)
9. Мадука Р., Изве О. Жер жұмыстары үшін балама құрылыс материалдары ретінде нигериялық аршылған жыныстардың инженерлік мүмкіндіктері мен тұрақтылығы // Араб геология журналы. 2022. Т. 15. Б. 767 (ағылшын тілінде)
10. Арун С., Атхира К. Жерді бақылау үшін ГИС пен ГНСС интеграциясы // Қолданбалы ғылым және инженерлік технологиялар саласындағы зерттеулердің халықаралық журналы. 2024. Т. 12. Б. 423–425 (ағылшын тілінде)
11. Качар карьерінде жоғары дәлдікті спутниктік позициялауды құруға арналған телекоммуникациялық шешімдер / Балтиева А.А. [және т. б.] // Еуразиялық тау-кен өнеркәсібі. 2024. № 2. Б. 85–88 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Bieleca E., Pokonieczny K., Borkowska S. GIScience theory based assessment of spatial disparity of geodetic control points location // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. V. 9. No. 3. 148 p. (in English)

2. Ayodele I.V., Samuel T.A., Ruth A.K. Spatial analysis of control points distribution in Federal University of Technology Akure // *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences*. 2023. V. 6. No. 2. 339–350 pp. (in English)
3. GIS Copilot: Towards an autonomous GIS agent for spatial analysis / Akinboyewa T. [et al.] // *International Journal of Digital Earth*. 2025. V. 18. No. 1. 2497489 p. (in English)
4. Owczarz K., Blachowski J. Application of DInSAR and spatial statistics methods in analysis of surface displacements // *Applied Sciences*. 2020. V. 10. No. 21. 7660 p. (in English)
5. Monitoring deformations of infrastructure networks: A fully automated GIS integration and analysis of InSAR time-series / Macchiarulo V. [et al.] // *Structural Health Monitoring*. 2022. V. 21. No. 4. 1849–1878 pp. (in English)
6. Geoinformatsionnyi analiz sovremennykh geodinamicheskikh protsessov na territorii g. Almaty [Geoinformation analysis of modern geodynamic processes in the territory of Almaty], Zhantaev Zh.Sh. [et al.], // *Izvestiya NAN RK. Seriya fiziko-matematicheskaya*. 2015. V. 6. No. 304. 28–33 pp. (in Russian)
7. Kuropatkina T., Lyubimova T. Application of GIS technologies for engineering geodynamic zoning of mountain territories // *E3S Web of Conferences*. 2023. V. 383. 02015 p. (in English)
8. GNSS imaging of vertical crustal deformation in Chinese mainland derived from decade-long continuous GNSS measurements / Song S. [et al.] // *Geodesy and Geodynamics*. 2026. V. 17. No. 1. 82–94 (in English)
9. Maduka R., Igwe O. Engineering potentials and stability of Nigerian waste rocks as alternative construction geo-materials and Earth structure fills // *Arabian Journal of Geosciences*. 2022. V. 15. 767 p. (in English)
10. Arun S., Athira K. GIS and GNSS integration techniques for Earth observations // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2024. V. 12. No. 7. 423–425 pp. (in English)
11. Telecommunication solutions for creating high-precision satellite positioning at Kacharsk quarry / Baltiyeva A.A. [et al.] // *Eurasian Mining*. 2024. No. 2. 85–88 pp. (in English)

Сведения об авторах:

Махметова Г.Н., мл. научн. сотрудник лаборатории «Горное давление им. А.Ч. Мусина», Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, докторант Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), makhgulgulmira@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-4689-8379>

Бимұрат Ж., научн. сотрудник лаборатории «Управление геомеханическими процессами им. акад. О.А. Байконурова», Ph.D, Институт горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан), bimuratzhanar@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8283-898X>

Балтиева А.А., зав. лабораторией «Горное давления им. А.Ч. Мусина», Институт горного дела им. Д.А. Кунаева (г. Алматы, Казахстан), a.baltiyeva@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1089-3351>

Гребби С., доцент по дистанционному зондированию Земли, Факультет инженерии, Геопространственный институт Ноттингема, Университет Ноттингема (г. Ноттингем, Великобритания), Stephen.Grebby@nottingham.ac.uk; <https://orcid.org/0000-0001-9768-2682>

Авторлар туралы мәліметтер:

Махметова Г.Н., А.Ч. Мусин атындағы тау-кен қысымы зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Д.А. Қонаев атындағы Тау-кен ісі институты, Сәтбаев Университетінің докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Бимұрат Ж., акад. О.А. Байқоңыров атындағы геомеханикалық процестерді басқару зертханасының ғылыми қызметкері, Ph.D, Д.А.Қонаев атындағы тау-кен институты (Алматы қ., Қазақстан)

Балтиева А.А., А.Ч. Мусин атындағы тау-кен қысымы зертханасының меңгерушісі, Д.А. Қонаев атындағы Тау-кен ісі институты (Алматы қ., Қазақстан)

Гребби С., Жерді қашықтықтан зондтау саласындағы доцент, Инженерия факультеті, Ноттингем геокеңістіктік институты, Ноттингем университеті (Ноттингем қ., Ұлыбритания)

Information about the authors:

Makhmetova G.N., Junior Researcher at the Laboratory of Mining Pressure named after A.Ch. Musin, D.A. Kunayev Mining Institute, Ph.D Candidate at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Bimurat Zh., Researcher at the Laboratory of Geomechanical Process Management named after Academician O.A. Baikonurov, Ph.D, D.A. Kunayev Mining Institute (Almaty, Kazakhstan)

Baltiyeva A.A., Head of the the Laboratory of Mining Pressure named after A.Ch. Musin, D.A. Kunayev Mining Institute (Almaty, Kazakhstan)

Grebby S., Associate Professor in Earth Observation, Faculty of Engineering, Nottingham Geospatial Institute, University of Nottingham (Nottingham, United Kingdom)

Код МРНТИ 89.57.35

*Н.С. Доненбаева¹, Н.А. Турсынбаев¹, М.Б. Игемберлина², Д.А. Жумабекова¹
¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Астана қ., Қазақстан),
²Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті
(Қарағанды қ., Қазақстан)

ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ҚҰЛСАРЫ ҚАЛАСЫНДАҒЫ СУ ТАСҚЫННЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ӨЗГЕРІСІН МОНИТОРИНГТЕУ

Аннотация. Бүгінгі таңда Жерді қашықтықтан зондтау әдістері (ЖҚЗ) су тасқыны сияқты динамикалық және ауқымды құбылыстарды қоса алғанда, табиғи апаттарды зерттеу мен бақылауда шешуші рөл атқарады. Бұл технология жер бетіндегі өзгерістерді әртүрлі спектрлік диапазондарда түсіруге мүмкіндік береді, бұл кешенді кеністіктік-уақыттық талдау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. ЖҚЗ деректерін пайдалану су басу аймақтарын картаға түсіру, олардың даму динамикасын қадағалау және ықтимал залалды болжау тиімділігін айтарлықтай арттырады. Зерттеу аясында мультиспектралды суреттер негізінде Құлсары қаласының ауданындағы су объектілерінің уақытша өзгерістеріне талдау жүргізілді. Деректерді өңдеу нәтижесінде көктемгі және күзгі кезеңдердегі су бетінің ауданы мен конфигурациясының өзгеруі анықталды, бұл жауын-шашынның көбеюіне байланысты.

Түйінді сөздер: су тасқыны, мониторинг, ылғалдылық, диаграмма, экология, атрибуттық кесте, бағдарлама, ауытқу.

Monitoring the dynamics of flooding in the city of Kulsary using remote sensing data

Abstract. Under contemporary conditions, Remote Sensing (RS) techniques play a pivotal role in the investigation and monitoring of natural hazards, particularly rapid and large-scale phenomena such as fluvial flooding. This technology facilitates the systematic recording of Earth surface modifications across diverse spectral bands, enabling robust spatio-temporal analysis. Such capabilities contribute to an objective assessment of both natural and anthropogenic drivers impacting the environment. As part of the study, an analysis of temporary changes in water bodies in the area of the city of Kulsary was carried out on the basis of multispectral images. As a result of data processing, variations in the area and configuration of the water surface in the spring and autumn periods were revealed, due to an increase in precipitation.

Key words: flood, monitoring, humidity, diagram, ecology, attribute table, program, deviation.

Мониторинг динамики наводнений в городе Кулсары по данным дистанционного зондирования Земли

Аннотация. В современных условиях методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) играют ключевую роль в изучении и мониторинге стихийных бедствий, включая такие динамичные и масштабные явления, как наводнения. Данная технология позволяет фиксировать изменения земной поверхности в различных спектральных диапазонах, обеспечивая возможность комплексного пространственно-временного анализа. Использование данных ДЗЗ существенно повышает эффективность картографирования зон затопления, отслеживания динамики их развития и прогнозирования потенциального ущерба. В рамках исследования на основе мультиспектральных снимков и проведен анализ временных изменений водных объектов в районе города Кулсары. В результате обработки данных выявлены вариации площади и конфигурации водной поверхности в весенний и осенний периоды, что обусловлено увеличением количества осадков.

Ключевые слова: наводок, мониторинг, влажность, диаграмма, экология, атрибутивная таблица, программа, отклонение.

Кіріспе

Қазақстан Республикасы үшін су тасқыны құбылысы ұлттық қауіпсіздік пен экономикалық тұрақтылыққа елеулі қатер төндіретін негізгі табиғи деструктивті факторлардың бірі болып саналады. Елдің гидрографиялық желісінің ерекшеліктері, трансшекаралық өзендердің көптігі және климаттық трансформациялар – әсіресе қысқы жауын-шашын мөлшерінің артуы мен көктемгі қар еру фазасының жылдамдауы – су деңгейінің критикалық көрсеткіштерге дейін көтерілуіне негізгі себепші болуда. Бұл жағдайлар су тасқынының қайталану периодын қысқартып, оның жойқын күшін арттырып отыр.

Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдісімен су тасқыны динамикасының мониторингі су басқан аумақтарды анықтау, олардың ауданы мен тереңдігін бағалау, сондай-ақ тәуекел карталарын жасау үшін оптикалық, радиолокациялық және ғарыштық деректерді пайдалану отырып, спутниктік деректер арқылы су тасқынының дамуын жедел бақылауға және болжауға мүмкіндік береді.

Су тасқынын бақылау кезінде ЖҚЗ артықшылықтары:

- тиімділік: спутниктік деректер апат ауқымын жылдам бағалауға мүмкіндік береді;
- аумақтарды қамтудың кеңдігі: қол жетімділігі қиын аумақтарды қоса алғанда, үлкен аумақтарды бақылау мүмкіндігі;
- тарихи талдау: өткен су тасқынын талдау және модельдер құру үшін суреттер мұрағатына қол жеткізу;

- кешенділік: су туралы ғана емес, сонымен қатар инфрақұрылымның жай-күйі, өсімдіктер, топырақтың ылғалдылығы туралы ақпарат алу.

Қолдану:

- болжау және ескерту: тәуекелдерді бағалау, су тасқынының таралуын болжау;
- шұғыл әрекет ету: құтқарушылар үшін апат аймақтарын анықтау және залалды бағалау;
- ұзақ мерзімді жоспарлау: қорғау шараларын әзірлеу, аумақтарды қалпына келтіру.

Тасқын сулардың теріс әсері мультипликативті сипатқа ие: ол тек аграрлық секторды ғана емес, сонымен қатар көлік-коммуникациялық және инженерлік инфрақұрылымдарды, стратегиялық нысандарды қамтиды. Су астында қалған ауыл шаруашылығы алқаптары мен жайылымдардың деградацияға ұшырауы елдің азық-түлік қауіпсіздігіне тікелей нұқсан келтіреді. Сонымен қатар, тұрғын үй қорының зақымдануы мен әлеуметтік маңызы бар нысандардың қирауы халықтың демографиялық және әлеуметтік жағдайына кері әсерін тигізіп, мемлекеттік бюджетке салмақ түсіреді. Экологиялық тұрғыдан алғанда, мұндай апаттар ландшафттардың тұрақтылығын бұзып, табиғи ресурстардың сарқылуына әкеп соқтыруы мүмкін.

2024 жылғы көктемгі кезеңде Қазақстан заманауи тарихындағы ең ауқымды гидрологиялық апаттардың біріне тап болды. Елдің 10 аймағында төтенше жағдай режимінің жариялануы мен 120 мыңнан астам азаматтың қауіпсіз аймақтарға эвакуациялануы оқиғаның қаншалықты күр-

делі болғанын айғақтайды. Бұл жағдай табиғи апаттардың салдарымен күресуде кешенді әлеуметтік-экономикалық мониторинг пен жедел басқару шешімдерінің маңыздылығын көрсетті.

Мемлекет тарапынан зардап шеккен өңірлердің инфрақұрылымын қайта қалпына келтіру бойынша ауқымды жұмыстар атқарылды. Атап айтқанда:

- *тұрғын үй мәселесі: «Қазақстан халқына» қоры мен демеушілер есебінен баспанасыз қалған азаматтар үшін жаңа тұрғын үйлер салынды;*

- *экономикалық қолдау: кәсіпкерлік субъектілеріне келтірілген зиянды өтеудің арнайы қаржылық тетіктері іске қосылды;*

- *инфрақұрылымдық оңалту: қираған жолдар мен көпірлерді қалпына келтіру арқылы көлік қатынасы қайта жанданды.*

2024 жылғы су басу процестерінің негізгі детерминанттары ретінде атмосфералық жауын-шашынның нормадан тыс көптігі мен топырақтың тым ылғалдануы (немесе қату тереңдігі) фонындағы қарқынды жылыну анықталды. Әсіресе Ақтөбе, Атырау және Батыс Қазақстан облыстарындағы су қоймалары мен өзендердегі су деңгейі тарихи максимумдардан асып түсті. Төменде келтірілген суретте Қазақстан аумағындағы 2024 жылғы көктемгі кезеңдегі топырақ ылғалдылығы мен жауын-шашынның нормаға қатысты пайыздық арақатынасы берілген¹.

Геодезиялық негіздеме жасау әдістемесі

Көктемгі кезеңдегі ылғал жинақталудың көпжылдық орташа мәннен ауытқу көрсеткіштері гидрологиялық болжамдау мен төтенше жағдайлардың алдын алу жүйесіндегі іргелі индикаторлар болып табылады. Топырақтың бастапқы ылғалдылық күйі көктемгі ағынның қалыптасуында шешуші рөл атқарады. Топырақ профилінде ылғалдың шектен тыс жиналуы оның инфильтрациялық қабілетін төмендетіп, гидрографиялық желілердегі су көлемінің экстенсивті өсуіне және тасқындық құбылыстардың өршуіне тікелей жағдай жасайды.

Ылғалдың жоғары концентрациясы еріген қар және атмосфералық жауын-шашын суларының топыраққа сіңуіне кедергі келтіріп, беткі ағын коэффициентінің артуына әкеледі.

Бұл үдеріс су массаларының өзен арналарында қысқа мерзімде шоғырлануын жеделдетіп, судың арнасынан шығып, жайылма аймақтарды басу қаупін тудырады. Сондықтан топырақтың ылғалдану деңгейін жүйелі түрде мониторингтеу – қауіп-қатерді алдын ала бағалау мен превентивті инженерлік қорғаныс шараларын ұйымдастырудың ғылыми негізі болып табылады [1].

2024 жылғы көктемгі маусымда Құлсары қаласы экстремалды гидрологиялық ахуалдың салдарынан елеулі әлеуметтік-экономикалық зардаптарға ұшырады. Климаттық факторлардың үйлесуі, атап айтқанда, қар жамылғысының қарқынды абляциясы (еруі) мен жауын-шашынның нормативтік көрсеткіштерден аномальді артуы Қамыскөл су айдынындағы деңгейдің критикалық шекке жетуіне детерминант болды.

Наурыз және сәуір айларындағы күрделі гидрометеорологиялық жағдайлар Құлсары арнасының өткізу қабілетінен асып түсетін су ағынын қалыптастырып, қаланың селителігі аймақтары мен стратегиялық инфрақұрылым нысандарының су астында қалуына соқтырды. Төменде «Қазгидромет» РМК деректеріне сүйене отырып дайындалған, 2024 жылғы су деңгейінің қауіпті межелерге жету динамикасын бейнелейтін графикалық материалдар ұсынылған [3].

Құлсары қаласының су басу аймақтарына кеңістіктік-уақыттық верификация жүргізу мақсатында Earth Explorer геоақпараттық порталының мәліметтері негізге алынды. Аталған платформаның функционалдық бағыты – қашықтықтан зондтау материалдары мен географиялық ақпараттарды интерактивті режимде визуализациялау мен экспорттауды қамтамасыз ету. Зерттеу барысында осы ресурс арқылы Landsat 8 аппаратының мультиспектралды түсірілімдері алынып, гидрологиялық нысандардың картографиялық модельдері әзірленді.

NASA-ның Жерді қашықтықтан зерттеу миссияларының ажырамас бөлігі болып табылатын Earth Explorer жүйесі ғаламдық экологиялық трансформацияларды, климаттық ауытқуларды және табиғи ресурстардың жай-күйін үздіксіз бақылауға арналған. Ғарыштық аппараттардан келетін ақпараттар легі атмосфералық процестерді, мұхиттық динамиканы және құрлықтық бедердің антропогендік әрі табиғи өзгерістерін іргелі зерттеуге мүмкіндік береді. Миссияның басты концепциясы – жер жүйелеріндегі өзгерістерді тіркеу арқылы жоғары дәлдіктегі ғылыми деректер базасын қалыптастыру [4].

Платформа ұсынатын деректер жиынтығының ішінде Landsat сериялы спутниктерінің өнімдері ерекше ғылыми құндылыққа ие. Әсіресе, Landsat 8 аппараты жер бетінің мониторингін жүргізу мен ландшафттық өзгерістерді талдауда жоғары тиімділік көрсетеді. Оның негізгі преференцияларына мыналар жатады:

- *кеңістіктік ажыратымдылық: 30 метрлік пиксельдік дәлдік деңгейі егжей-тегжейлі картографиялық талдау жасауға мүмкіндік береді;*

- *мультиспектралды мүмкіндіктер: электромагниттік спектрдің түрлі диапазондарында деректер жинау арқылы нысандарды идентификациялау дәлдігін арттырады;*

- *периодтылық: әр 15 күн сайын жер бетінің нақты бір нүктесін қайта түсіру мүмкіндігі уақыттық динамиканы зерттеуге жол ашады.*

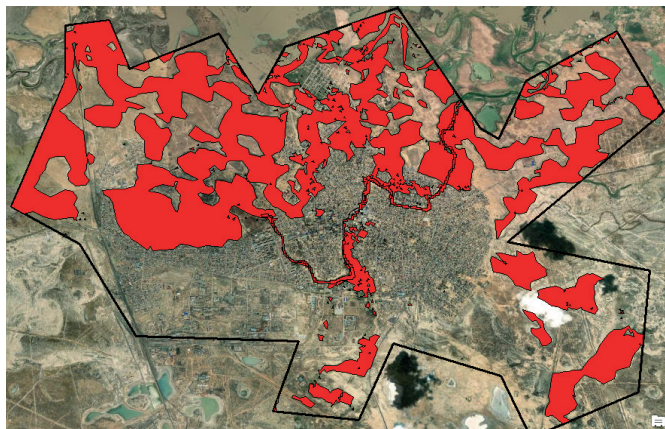
Landsat 8 суреттері негізінде Құлсары аймағындағы гидрологиялық нысандардың «су айнасын» (water surface extent) анықтау – су ресурстарын басқару мен экологиялық болжамдаудың пәрменді құралы. Су айнасының картографиялық моделі су нысандарының нақты уақыт мезетіндегі кеңістіктік конфигурациясын, ауданын және динамикалық ауытқуларын бейнелейді.

Мұндай экологиялық мониторинг нәтижелері су ресурстарын ұтымды пайдалануға қажетті ақпараттық базаны құрайды. Су деңгейінің вариациялары мен су бетінің ауданындағы өзгерістерді талдау арқылы экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету, су тапшылығының алдын

¹Қазгидромет: URL: http://ecodata.kz:3838/app_dg_map_ru/ (жүзінген күні 15.10.2024).

алу және экожүйелердің регенерациялық әлеуетін сақтау бойынша ғылыми негізделген шешімдер қабылдауға болады. Сонымен қатар су айнасы деректері экологиялық қауіпсіздік пен тұрақты даму саясатын ғылыми тұрғыдан негіздеуге мүмкіндік береді [5–6].

Келесі суреттерде Landsat 8 деректері негізінде алынған Құлсары қаласының су айнасы көрсетілген (1-сурет).



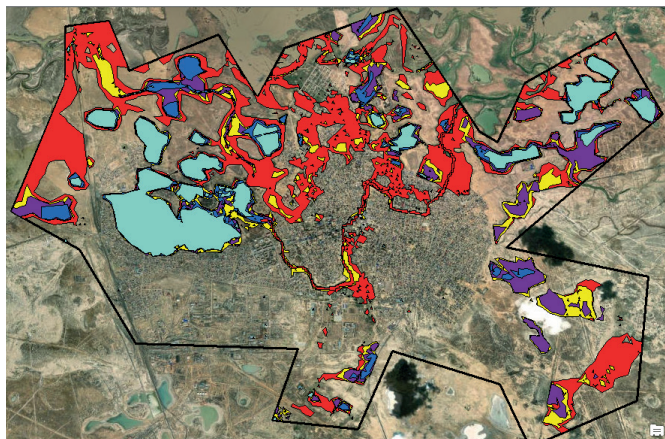
Сурет 1. Құлсары қаласының 2024 жылғы сәуір айының су айнасы.

Figure 1. Water surface of Kulsary city in april 2024.

Рис. 1. Водная поверхность города Кулсары в апреле 2024 года.

Су айнасы арқылы су объектілерінің динамикасын бақылау су ресурстарын басқару жүйесінің тиімділігін арттырады. Бұл тәсіл су тасқыны немесе құрғақшылық жағдайында су қорларын ұтымды пайдалану жөнінде дер кезінде басқарушылық шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

2-суретте су айнасының маусымдық өзгерісін сипаттайтын деректер ұсынылған: сәуір айы – қызыл түспен, мамыр – сары, маусым – күлгін, шілде – көк, ал тамыз – көгілдір түспен бейнеленген.



Сурет 2. Құлсары қаласының 2024 ж. көктем мен жаз айларының су айнасы.

Figure 2. Dynamics of the water surface of Kulsary city in the spring-summer period of 2024.

Рис. 2. Динамика водной поверхности города Кулсары в весенне-летний период 2024 года.

Зерттеу барысында алынған мәліметтер су ресурстарының көлемдік көрсеткіштерінде айқын маусымдық вариациялар бар екенін көрсетті. Әсіресе, көктемгі су тасқынының шарықтау шегі байқалатын сәуір айы мен гидрологиялық межень кезеңіне сәйкес келетін тамыз айы арасындағы айырмашылықтың экстремалды деңгейі тіркелді. Бұл диспропорция аймақтың климаттық ерекшеліктері мен өзен ағынының қалыптасу жағдайларының тікелей көрінісі болып табылады.

ArcGIS бағдарламалық кешеніндегі атрибуттық кесте (Attribute Table) геоақпараттық жүйенің іргелі компоненті ретінде кеңістіктік нысандарға қатысты семантикалық ақпаратты сақтау мен басқарудың негізгі құралы болып табылады. Ол нүктелік, сызықтық және полигондық векторлық деректердің геометриялық параметрлерін олардың сапалық және сандық сипаттамаларымен (атрибуттарымен) біріктіреді. Бұл интеграция зерттеу нысандарына кешенді кеңістіктік-статистикалық талдау жүргізуге жағдай жасайды.

Атрибуттық кестенің логикалық құрылымы реляциялық деректер базасының қағидаларына негізделген:

- *жолдар (Records):* әрбір жол бірегей географиялық объектіні бейнелейді;

- *бағандар (Fields):* әрбір баған объектінің нақты бір сипаттамасын (ауданы, периметрі, атауы, функционалдық мақсаты және т. б.) айқындайды [7–8].

Картографиялық объектілердің атрибуттық деректермен өзара байланысы аумақтық заңдылықтарды анықтауға, динамикалық үдерістерді модельдеуге және кеңістіктік сұраныстарды (spatial queries) тиімді орындауға мүмкіндік береді.

ArcGIS ортасында атрибуттық ақпаратты пайдалану деректерді визуализациялау, жіктеу және редукциялау (сүзгілеу) процестерін оңтайландырады. Белгілі бір критерийлер бойынша нысандарды іріктеу (Selection by Attributes) аналитикалық жұмыстардың дәлдігін арттырады. Сонымен қатар, атрибуттық мәліметтер базасы негізінде құрастырылатын тақырыптық карталар мен аналитикалық диаграммалар кеңістіктік деректердің құрылымдық ерекшеліктерін көрнекі түрде ұсынуға және ғылыми негізделген қорытындылар жасауға мүмкіндік береді.

Нәтижелері

Атрибуттық кестелер географиялық деректерді жүйелі әрі тиімді басқаруға мүмкіндік беретін әмбебап құрал ретінде қарастырылады. ArcGIS бағдарламасында атрибуттарды өңдеуге, жаңартуға және талдауға арналған арнайы функциялар мен құралдар жиынтығы бар. Бұл мүмкіндіктер кеңістіктік және семантикалық деректерді өзара байланыстыра отырып кешенді зерттеулер жүргізуге жағдай жасайды, әсіресе картографиялық және экологиялық мониторинг салаларында маңызды рөл атқарады.

3 және 4 суреттерде сәуір және тамыз айларындағы су көлемінің өзгерісі атрибуттық кесте деректері негізінде көрсетілген.

FID	Shape *	OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Leng	Shape_Area
0	Полигон	10	10	1	2946.813642	260712.236162
1	Полигон	13	13	1	113.186599	616.202162
2	Полигон	17	17	1	113.186599	616.202162
3	Полигон	18	18	1	113.186599	616.202162
4	Полигон	19	19	1	414.636737	7681.334968
5	Полигон	20	20	1	113.186599	616.202162
6	Полигон	21	21	1	386.139988	8710.356496
7	Полигон	22	22	1	113.186599	616.202162
8	Полигон	24	24	1	213.012932	2132.219299
9	Полигон	27	27	1	113.186599	616.202162
10	Полигон	28	28	1	170.211592	1214.859858
11	Полигон	33	33	1	1095.672982	33286.798822
12	Полигон	34	34	1	527.775747	14098.052034

Сурет 3. Сәуір айының атрибуттық кестесінің көрінісі.

Figure 3. Representation of the attribute table for april.

Рис. 3. Представление атрибутивной таблицы за апрель.

Атрибуттық кестеде жинақталған деректерді пайдалану су тасқынының көлемін сандық тұрғыдан анықтауға мүмкіндік береді (сурет 4).

FID	Shape *	OBJECTID	Id	gridcode	Shape_Leng	Shape_Area
0	Полигон	1	1	1	267.200386	2761.628792
1	Полигон	2	2	1	113.185634	616.19144
2	Полигон	3	3	1	316.002855	5224.638254
3	Полигон	4	4	1	169.766015	1228.867099
4	Полигон	5	5	1	227.610663	1857.775753
5	Полигон	6	6	1	113.185634	616.19144
6	Полигон	7	7	1	120	900
7	Полигон	8	8	1	113.185634	616.19144
8	Полигон	9	9	1	113.186599	616.202162
9	Полигон	10	10	1	714.343847	15958.506749
10	Полигон	11	11	1	113.186599	616.202162
11	Полигон	12	12	1	711.431527	21622.18674
12	Полигон	13	13	1	113.185634	616.19144

Сурет 4. Тамыз айының атрибуттық кестесінің көрінісі.

Figure 4. Representation of the attribute table for august.

Рис. 4. Представление атрибутивной таблицы за август.

Кеңістіктік объектілердің атрибуттық сипаттамалары негізінде жүргізілген есептеулер арқылы су айнасының ауданы мен көлемдік көрсеткіштері нақтыланады.

Атрибуттық кестелердегі су көлемінің өзгеруі, әдетте, өрістерді өңдеу, көлемге жаңа бағандар қосу, есептеулер жүргізу немесе жаңа өлшемдерді жүктеу үшін ГАЗ құралдарын немесе мәліметтер базасын қолдана отырып, су ортасының объектілеріне қатысты сандық немесе мәтіндік деректерді жаңартуды білдіреді су деңгейінің динамикасын көрсету үшін қолданылады.

ArcGIS бағдарламасындағы су көлемінің өзгеруі туралы деректерді өңдеудің өзектілігі қазіргі уақытта ресурстардың жаһандық тапшылығына, климаттың өзгеруіне және суды басқарудың цифрлық трансформациясына байланысты.

Келесі 5 суретте Microsoft Excel бағдарламасын қолдану арқылы орындалған есептеулердің нәтижелері көр-

сетілген. Excel ортасында жүргізілген талдау деректерді жүйелеуге, арифметикалық және статистикалық операцияларды орындауға, сондай-ақ алынған нәтижелерді кесте және диаграмма түрінде көрнекі ұсынуға мүмкіндік береді [9–10].

	A	B	C
157	616.20	616.20	0.00
158	4320.15	2132.22	2187.93
159	900.00	616.19	283.81
160	65431.72	616.20	64815.52
161	616.21	616.20	0.01
162	293340.08	616.20	292723.88
163	4916.04	616.20	4299.84
164	1800.00	7996.62	(6196.62)
165	1228.85	576.35	652.50
166	1857328.93	3600.00	1853728.93
167	35076738.83	7156688.79	27920050.03

Сурет 5. Құлсары қаласы аумағындағы су деңгейінің көтерілу көлемінің сандық бағалануы.

Figure 5. Quantitative assessment of water level rise in the territory of Kulsary city.

Рис. 5. Количественная оценка подъема уровня воды на территории города Кулсары.

Жүргізілген сандық сараптама нәтижесінде Құлсары қаласы аумағындағы су тасқынының экстремалды фазасы мен гидрологиялық режимнің тұрақталу кезеңі арасындағы су массаларының айтарлықтай айырмашылығы верификацияланды. Есептеулерге сәйкес, тасқын кезіндегі жинақталған су көлемінің дельтасы (айырмашылығы) 27 920 050 м³ құрады. Бұл параметр 2024 жылғы көктемгі су тасқынының жойқын ауқымы мен аймақтың гидрографиялық жүйесіне түскен антропогендік және табиғи жүктеменің деңгейін объективті түрде сипаттайды.

Бұл ғылыми зерттеу Құлсары қаласындағы табиғи апаттарды мониторингтеуде ЖКЗ технологияларының жоғары аналитикалық әлеуетін айқын көрсетті. Landsat 8 ғарыштық аппаратынан алынған мультиспектралды мәліметтер негізінде жасалған су бетінің модельдері тасқынның таралу ареалын, оның морфологиялық өзгерістерін және хронологиялық динамикасын жоғары дәлдікпен реляциялауға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында қолданылған «су айнасы» концепциясы жай ғана картографиялық визуализация құралы емес, сонымен қатар күрделі аналитикалық және предиктивті әдістеме ретінде айрықша маңызға ие. Landsat 8 деректері негізінде алынған кеңістіктік-уақыттық мәліметтер бірнеше стратегиялық бағыттарды қамтитын іргелі ғылыми базаны қалыптастырады. Біріншіден, бұл тәсіл су тасқыны мен су дефициті сияқты климаттық тәуекелдерді модельдеу мен болжау арқылы қауіп-қатерлерді басқарудың тиімділігін арттырады. Екіншіден, трансшекаралық және жергілікті экожүйелердің тұрақтылығына жүйелі экологиялық мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, аталған деректер урбанистика саласында қалалық инфрақұрылымды жоспарлаудың гидрологиялық

қауіпсіздік нормаларын ғылыми тұрғыдан негіздеуге және аумақтарды тұрақты дамытуды қамтамасыз етуге негіз болады [11].

Қорыта айтқанда, ЖҚЗ деректері мен геоақпараттық жүйелерді (ГАЗ) интеграциялау су тасқыны зардаптарын минимизациялау мен аумақтың тұрақты дамуын қамтамасыз етуге шешуші рөл атқарады.

Қорытынды

Экологиялық мониторинг жүйесінде «су айнасы» концепциясы гидрологиялық нысандардың кеңістіктік-уақыттық трансформациясын жоғары деңгейлі репрезентативтілікпен бағалауға мүмкіндік береді. Бұл әдістеме табиғи ландшафттардың деградациясын, экожүйелік гомеостаздың (тепе-теңдіктің) бұзылуын және антропогендік детерминанттар әсерінен туындайтын экологиялық қатерлерді ерте диагностикалауға жағдай жасайды. Су айдындары көлемінің аномальді ауытқулары, жағалау сызығының морфологиялық өзгерістері мен су режимінің тұрақсыздығы сияқты көрсеткіштер қашықтықтан зондтау мәліметтері арқылы үздіксіз қадағаланады. Мұндай превентивті бақылау табиғи апаттардың алдын алуға бағытталған іс-шараларды стратегиялық жоспарлаудың іргелі негізі болып табылады.

Төтенше жағдайлар сценарийлерін предиктивті модельдеу тұрғысынан алғанда, су айнасы бойынша жинақталған ретроспективті және ағымдағы ақпарат су тасқынына бейім (экспозицияланған) аумақтарды верификациялауға мүмкіндік береді. Алынған мәліметтер жергілікті атқарушы билік органдары мен азаматтық қорғаныс қызметтеріне халықты эвакуациялау, стратегиялық инфрақұрылымды локализациялау және инженерлік қорғаныс нысанда-

рын нығайту бойынша негізделген басқарушылық шешімдер қабылдауға жол ашады. Сонымен қатар, бұл деректер базасы апаттан кейінгі залалды бағалау мен аумақтарды рекультивациялау кезеңіндегі басты ақпараттық ресурс ретінде қарастырылады.

Аймақтық және қалалық ландшафттық жоспарлауда су айнасының динамикасы тұрғын үй массивтері мен аграрлық-индустриалды нысандарды орналастырудың басты детерминанты. Құлсары қаласы бойынша алынған зерттеу нәтижелері су тасқыны процестерін сандық модельдеуге және ықтимал қауіп деңгейін кеңістіктік тұрғыдан нақтылауға мүмкіндік берді. Аталған ғылыми тұжырымдар тек өткен оқиғаларды бағалаумен шектелмей, болашақтағы гидрологиялық қатерлерге стратегиялық дайындықты қамтамасыз етуге және қаланың су қауіпсіздігі концепциясын жетілдіруге бағытталған.

Түйіндей келгенде, су айнасы тек теориялық талдау құралы емес, сонымен қатар экологиялық тұрақтылықты сақтау, табиғи апаттарға резиленттілікті (төзімділікті) арттыру және табиғи ресурстарды ұтымды басқаруды қамтамасыз ететін көпфункционалды интеграциялық тетік болып табылады. Landsat 8 жерсерігінің мәліметтері негізінде жүргізілген бұл зерттеу Қазақстанның су тасқынына бейім өңірлері үшін қашықтықтан зондтау технологияларының тиімділігін тағы да дәлелдеді.

Алғыс

Авторлар ұсынылған мақаланы дайындау барысында кәсіби кеңес беріп, ғылыми-әдістемелік қолдау көрсеткен «Aerospace» ЖШС ұжымы мен мамандарына шынайы ризашылығын білдіреді.

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Керімбай Н.Н. Жерді қашықтықтан зондтауды геоақпараттық технология әдістерімен талдау: оқу құралы: Алматы: Дарын. 2023. 310 б. (қазақ тілінде)
2. Жайық өзенінің тасқын кезінде деңгейлік режимін жерді қашықтықтан зондтау деректері арқылы бағалау / Чепашев Д.В. [және т. б.] // Алматы энергетика және байланыс университетінің хабаршысы. 2024. Т. 3. № 66. Б. 118–128 (орыс тілінде)
3. Лю Цзянь Го, Мейсон Ф.Дж. ГИС және қашықтықтан зондтау үшін қажетті кескіндерді өңдеу // Wiley-Blackwell. 2009. Б. 128 (орыс тілінде)
4. Қалалық тасқындар кезінде фотограмметрия және қашықтықтан зондтаудың зерттеу жағдайы мен даму тенденциясы / Na Sun [және т. б.] // ISPRS Жылнамалары фотограмметрия, қашықтықтан зондтау және кеңістіктік ақпараттану. 2022. Т. X-3/W1. Б. 41–49 (ағылшын тілінде)
5. Коновалов И.В., Татарчук А.П. Математикалық модельдеу негізінде жерді қашықтықтан зондтау жүйесін жетілдіру // АПК дамуына арналған жас ғалымдардың зерттеулері: тезистер жинағы: Орал мемлекеттік аграрлық университеті. 2023. Т. 2. Б. 151–153. (орыс тілінде)
6. Павлова Л.Г., Шаймарданов Д.А., Атнабаев А.Ф. Жерді қашықтықтан зондтау негізінде тасқындарды мониторингілеу // Ғылым және тәжірибе бюллетені. 2024. Т. 10. № 7. Б. 82–85 (орыс тілінде)
7. Парубчишин Е.А., Кучейко А.А. Жерді қашықтықтан зондтау бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу // Негізгі идеялар мен қазіргі космонавтика жетістіктері. 59-шы Ғылыми оқуларының материалдары, Калуга, 2024. № 1 (36). Б. 299–302 (орыс тілінде)
8. Федичкина В.П. Жер жағдайын қашықтықтан зондтау арқылы мониторингтеу әдістерін зерттеу // Донның жас зерттеушісі. 2024. Т. 9. № 6 (51). Б. 32–35 (орыс тілінде)
9. Брыжко И.В., Четин А. А. Геоақпараттық модельдеу, тасқындар мен су тасқындары аймақтарын болжау және мониторингтеу // Архитектура, құрылыс, жер қатынастары және кадастр саласындағы ғылым мен білімді дамытудың аймақтық аспектілері, III мыңжылдықтың басы. 2023. Т. 2. Б. 262–266 (орыс тілінде)

10. Bajjali W. ArcGIS экологиялық және су мәселелері бойынша. Жер туралы ғылымдар, география және қоршаған орта бойынша Springer оқулықтары: Springer, 2018. XVIII. Б. 353 (ағылшын тілінде)
11. Nhangumbe M., Nascetti A., Ban Y. Мозамбиктегі тасқындарды карталау және залалды бағалау үшін Sentinel-1 SAR және Sentinel-2 MSI көп уақыттық деректері // ISPRS Халықаралық Геоақпараттық Журнал. 2023. Т. 12. Б. 53–61 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Kerimbay N.N., Kerimbay B.S. Analysis of Earth Remote Sensing by Methods of Geoinformation Technologies: Textbook: Almaty: Daryn. 2023. 310 p. (in Kazakh)
2. Otsenka urovneвого rezhima pri polovod'e reki Zhaiyk s primeneniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Assessment of the Level Regime during the Flood of the Zhayyk River Using Earth Remote Sensing Data], Chepashev D.V. [et al.], Vestnik Almatinskogo universiteta energetiki i svyazi [Bulletin of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications]. 2024. No. 66. 118–128 pp. (in Russian)
3. Liu J.G., Mason P.J. Neobkhodimaya obrabotka izobrazhenii dlya GIS i distantsionnogo zondirovaniya [Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing], Wiley-Blackwell [Wiley-Blackwell]. 2009. 128 p. (in Russian)
4. Research Status and Development Trends of Photogrammetry and Remote Sensing in Urban Flooding / Sun N. [et al.] // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2022. V. X-3/W1. 41–49 pp. (in English)
5. Konovalov I.V., Tatarchuk A.P. Uluchshenie sistemy distantsionnogo zondirovaniya zemli na osnove matematicheskogo modelirovaniya [Improvement of the Earth Remote Sensing System Based on Mathematical Modeling], Issledovaniya molodykh uchenykh dlya razvitiya APK [Research of Young Scientists for the Development of the Agro-Industrial Complex]. Collection of abstracts: Ural'skii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. 2023. V. 2. 151–153 pp. (in Russian)
6. Pavlova L.G., Shaimardanov D.A., Atnabaev A.F. Monitoring pavodkov na osnove distantsionnogo zondirovaniya zemli [Flood Monitoring Based on Earth Remote Sensing], Byulleten' nauki i praktiki [Bulletin of Science and Practice]. 2024. V. 10 (7). 82–85 pp. (in Russian)
7. Parubchishin E.A., Kucheyko A.A. Razrabotka programmnoho obespecheniya dlya distantsionnogo zondirovaniya zemli [Development of Software for Earth Remote Sensing], Klyuchevye idei i sovremennye dostizheniya kosmonavtiki. Materialy 59-kh nauchnykh chtenii, posvyashchennykh razrabotke nauchnogo naslediya i razvitiyu idei K.E. Tsiolkovskogo [K.E. Tsiolkovsky: Key Ideas and Modern Achievements of Cosmonautics. Materials of the 59th Scientific Readings], Kaluga, 2024. No. 1 (36). 299–302 pp. (in Russian)
8. Fedichkina V.P. Issledovanie sposobov monitoringa sostoyaniya zemel' s pomoshch'yu distantsionnogo zondirovaniya [Research of Methods for Monitoring Land Conditions Using Remote Sensing], Molodoi issledovatel' Dona [Young Researcher of the Don]. 2024. V. 9 No. 6 (51). 32–35 pp. (in Russian)
9. Bryzhko I.V., Chetin A.A. Geoinformatsionnoe modelirovanie, prognozirovanie i monitoring zon navodnenii i zatoplenii [Geoinformation Modeling, Forecasting, and Monitoring of Flood and Inundation Zones], Regional'nye aspekty razvitiya nauki i obrazovaniya v oblasti arkhitektury, stroitel'stva, zemleustroistva i kadastrrov v nachale III tysyacheletiya [Regional Aspects of the Development of Science and Education in Architecture, Construction, Land Management, and Cadastres]. 2023. V. 2. 262–266 pp. (in Russian)
10. Bajjali W. ArcGIS for Environmental and Water Issues. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment: Springer, 2018. 353 p. (in English)
11. Nhangumbe M., Nascetti A., Ban Y. Multi-Temporal Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 MSI Data for Flood Mapping and Damage Assessment in Mozambique // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2023. V. 12. 53–61 pp. (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Керимбай Н.Н. Анализ дистанционного зондирования земли методами геоинформационных технологий: учебное пособие: Алматы: Дарын, 2023. 310 с. (на казахском языке)
2. Оценка уровневого режима при половодье реки Жайык с применением данных дистанционного зондирования Земли / Чепашев Д.В. [и др.] // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2024. Т. 3. № 66. С. 118–128 (на русском языке)
3. Лю Цзянь Го, Мейсон Ф.Дж. Необходимая обработка изображений для ГИС и дистанционного зондирования // Wiley-Blackwell. 2009. С. 128 (на русском языке)
4. Состояние исследований и тенденции развития фотограмметрии и дистанционного зондирования при городских наводнениях / На Sun [и др.] // ISPRS Анналы фотограмметрии, дистанционного

- зондирования и наук о пространственной информации. 2022. Т. X-3/W1. С. 41–49 (на английском языке)
5. Коновалов И.В., Татарчук А.П. Улучшение системы дистанционного зондирования земли на основе математического моделирования // Исследования молодых ученых для развития АПК: сб. тезисов: Уральский государственный аграрный университет. 2023. Т. 2. С. 151–153 (на русском языке)
 6. Павлова Л.Г., Шаймарданов Д.А., Атнабаев А.Ф. Мониторинг наводков на основе дистанционного зондирования земли // Бюллетень науки и практики. Т. 10. № 7. С. 82–85 (на русском языке)
 7. Парубчишин Е.А., Кучейко А.А. Разработка программного обеспечения для дистанционного зондирования земли // Ключевые идеи и современные достижения космонавтики. Материалы 59-х научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, Калуга, 2024. № 1 (36). С. 299–302 (на русском языке)
 8. Федичкина В. П. Исследование способов мониторинга состояния земель с помощью дистанционного зондирования // Молодой исследователь Дона. 2024. Т. 9. № 6 (51). С. 32–35 (на русском языке)
 9. Брыжко И.В., Четин А.А. Геоинформационное моделирование, прогнозирование и мониторинг зон наводнений и затоплений // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. 2023. Т. 2. С. 262–266 (на русском языке)
 10. Bajjali W. ArcGIS по экологическим и водным вопросам. Учебники Springer по наукам о Земле, географии и окружающей среде: Springer, 2018. XVIII. С. 353 (английском языке)
 11. Nhangumbe M., Nascetti A., Van Y. Многоцветное использование данных Sentinel-1 SAR и Sentinel-2 MSI для картирования наводнений и оценки ущерба в Мозамбике // ISPRS Международный геоинформационный журнал. 2023. Т. 12. С. 53–61 (английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Доненбаева Н.С., Ph.D докторы, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», «Геодезия және картография кафедрасының доцент м. а. (Астана қ., Қазақстан), donenbayeva_ns@enu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-1530-0746>

Турсынбаев Н.А., Ph.D докторы, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», «Геодезия және картография кафедрасының доцент м.а. (Астана қ., Қазақстан), tursynbayev_na@enu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-5436-5708>

Игемберлина М.Б., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов Қарағанды техникалық университеті», «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан), igemberlina@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4243-7748>

Жумабекова Д.А., «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», «Геодезия және картография кафедрасының магистранты (Астана қ., Қазақстан), dzhunius21@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0007-7994-1055>

Information about the authors:

Donenbayeva N.S., Ph.D, Acting Associate Professor of the Department of «Geodesy and Cartography», L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan)

Tursynbayev N.A., Ph.D, Acting Associate Professor of the Department of «Geodesy and Cartography», L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan)

Igemberlina M.B., Doctor of Ph.D, associate professor of the Department of Surveying and Geodesy, NAO «Karaganda Technical University named after A. Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Zhumabekova D.A., Master's Student of the Department of «Geodesy and Cartography», L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Доненбаева Н.С., доктор Ph.D, и. о. доцента кафедры «Геодезия и картография» НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева» (г. Астана, Казахстан)

Турсынбаев Н.А., доктор Ph.D, и.о. доцента кафедры «Геодезия и картография» НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева» (г. Астана, Казахстан)

Игемберлина М.Б., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

Жумабекова Д.А., магистрант кафедры «Геодезия и картография» НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева» (г. Астана, Казахстан)

Код МРНТИ 36.01.81

Т.Б. Нурпенсова¹, *Г.С. Мадимарова¹, Н.А. Милетенко², Ж.Е. Мадимаров¹¹Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан),²Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова
Российской академии наук (г. Москва, Россия)

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

Аннотация. В статье рассматривается геодезический мониторинг деформаций зданий, расположенных в зоне влияния строительства метро Алматы. Первая линия проходит в междуречье Большой и Малой Алматинки на северном склоне Заилийского Алатау, где проявляются сложные инженерно-геологические условия: высокая сейсмичность (9–10 баллов MSK-64), наклонный рельеф, неоднородные слабые грунты со значительной глубиной тоннелей (11–60 м). В условиях строительства второй очереди требуется обеспечение безопасности наземной застройки. Обоснована методика инструментального мониторинга устойчивости сооружений. Показано, что современные геодезические средства повышают точность и оперативность контроля, а обработка данных по реперам, установленным на зданиях, позволяет оценивать динамику деформаций во времени и пространстве, обеспечивая надежность наблюдений.

Ключевые слова: метрополитен, деформация зданий и сооружения, GNSS-технологии, электронные тахеометры, цифровые нивелиры, лазерные приборы, графики деформации.

Метрополитеннің эсер ету аймағындағы көп қабатты ғимараттардың деформациясының геодезиялық мониторингі

Андатпа. Мақалада Алматы метросы құрылысының ықпал ету аймағында орналасқан ғимараттардың деформацияларының геодезиялық мониторингі қарастырылады. Бірінші жол Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі үлкен және Кіші Алматы өзендерінің аралығында өтеді, онда күрделі инженерлік-геологиялық жағдайлар көрінеді: жоғары сейсмикалық (9–10 балл MSK-64), көлбеу рельеф, тоннельдердің едәуір тереңдігі бар (11–60 м) біртекті емес әлсіз топырақтар. Екінші кезектегі құрылыс жағдайында жерүсті құрылысының қауіпсіздігін қамтамасыз ету талап етіледі. Құрылыстардың тұрақтылығын аспаптық мониторингтеу әдістемесі негізделген. Заманауи геодезиялық құралдар бақылаудың дәлдігі мен жеделдігін арттыратыны көрсетілген, ал ғимараттарда орнатылған реперлер бойынша деректерді өңдеу бақылаулардың сенімділігін қамтамасыз ете отырып, уақыт пен кеңістіктегі деформация динамикасын бағалауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: метрополитен, ғимараттар мен құрылыстардың деформациясы, GNSS технологиялары, электрондық тахеометрлер, цифрлық нивелирлер, лазерлік аспаптар, деформация графиктері.

Geodetic monitoring of deformations of multi-storey buildings buildings in the metro area of influence

Abstract. This article focuses on geodetic monitoring of building deformations in the Almaty Metro construction zone. The first line is located in challenging engineering and geological conditions: high seismicity (magnitude 9–10), sloping terrain, soft soils, and tunnel depths of 11–60 meters. For the second phase of construction, the safety of surface structures is particularly important. A methodology for instrumental monitoring of structural stability is substantiated. The use of modern geodetic tools improves the accuracy and efficiency of measurements. Processing data from benchmarks installed on buildings allows for an assessment of the spatial and temporal dynamics of deformations and ensures reliable observations.

Key words: subway, deformations of buildings and structures, GNSS technologies, electronic total stations, digital levellers, laser devices, deformation graphs.

Введение

В условиях сейсмически опасных зон строительство и эксплуатация крупномасштабных зданий и сооружений требуют особого подхода к методам геодезического наблюдения. Мониторинг деформаций оснований и фундаментов становится критически важным фактором обеспечения безопасности подобных объектов.

В обзоре анализируются результаты различных международных исследований, посвященных строительству и эксплуатации метрополитенов, а также влиянию подземного транспорта на городскую среду. Неопределенности, связанные с подземным строительством, сложными гидрогеологическими условиями и влиянием соседних сооружений, проявляются особенно ярко в процессе возведения тоннелей и активно изучаются в мировой практике. От эффективности метро зависит транспортная, экономическая, экологическая и социальная устойчивость города.

Анализ геодезических наблюдений, выполненных при строительстве инженерных сооружений на территории СНГ, показывает, что объекты в южных регионах существенно отличаются по характеру взаимодействия с основанием от аналогичных объектов Центральной и Северной частей. Это обусловлено тем, что многие города Средней Азии и Казахстана, включая Алматы, расположены в сейсмически активных районах, характеризующихся сложными гидрогеологическими условиями и тектоническими нарушениями.

Строительство тоннелей в условиях плотной городской застройки оказывает влияние на здания, сооружения и инженерные коммуникации, расположенные на поверхности. В ходе проводимой работы методом дисперсионного анализа выявлены ключевые факторы, влияющие на величину оседаний земной поверхности и зданий при проходке тоннелей. Исследование выполнялось на основе данных геотехнического и геодезического мониторинга, полученных при строительстве подземных сооружений и проходке двухпутных тоннелей Алматинского метрополитена в сложных инженерно-геологических условиях [1, 2].

Особое внимание уделено методикам геодезических измерений с применением современных приборов, обеспечивающих комплексный мониторинг высотных зданий и определение фактических параметров деформаций с последующим построением их трехмерных моделей. Геодезический мониторинг деформаций зданий и сооружений проводится как в период строительства, так и на этапе эксплуатации. Особенно остро проблема наблюдений за осадками проявляется при возведении новых объектов в условиях плотной городской застройки, где любое нарушение устойчивости может представлять угрозу окружающим сооружениям.

Материалы и методы исследования

Объект исследования

Метрополитен в Алматы был открыт 1 декабря 2011 года. Это единственное метро на территории Казахстана,

второе среди среднеазиатских стран после метро Ташкента и самое молодое среди постсоветских стран.

Алматинский метрополитен не только очень молодое метро, но и достаточно скромное по своим размерам. В городе функционирует только одна ветка – линия А или красная линия. Алматинский метрополитен строился с 1988 года, первая очередь из 7 станций протяженностью 8,6 км сдана в 2011 году, в 2015 году добавились еще 2 станции и еще две – в 2022 году. Общая протяженность метро составляет около 13 км [3].

С 2023 года ведется строительство третьего пускового комплекса второй очереди первой линии метрополитена г. Алматы, от станции «Б. Момышулы» до станции «Калкаман». Дальнейшее развитие третьей очереди первой линии метрополитена предусмотрено в западном направлении от станции «Калкаман» до станции в районе рынка «Барлык». В первом квартале 2023 г. получено положительное заключение РГП «Госэкспертиза» на технико-экономическое обоснование (ТЭО).

Обзорная карта района ведения метрополитена приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема метрополитена г. Алматы
Сурет 1. Алматы қаласы метрополитенінің схемасы.
Figure 1. The scheme of the Almaty metro.

Уникальность метрополитена г. Алматы определяется комплексом особо сложных геотехнических факторов:

1. Сложная региональная геодинамика Северного Тянь-Шаня.
2. Высокая сейсмичность территории в 9–10 баллов по шкале MSK.
3. Предгорная зона с наклонным рельефом, представляющая межгорную впадину.
4. Грунты разнообразные, слабоустойчивые, галечниковые с включениями валунов до трех метров в диаметре.
5. Разные глубины заложения перегонных и станционных тоннелей от 11 м мелкого до 60 м глубокого.

Район строительства первой очереди метрополитена расположен на северном склоне Заилийского Алатау в пределах выноса конуса рек Большая и Малая Алматинка.

Участок строительства сложен галечниковыми грунтами, с включением валунов размером от 200 до 400 мм, преимущественно с песчаным заполнителем. Заполнитель представлен разнородными песками кварцполевошпатового состава.

В период проектной проработки конструкции станции «Москва» выполнено исследование напряженно-дефор-

мированного состояния обделки станционных тоннелей, а также установления характера ее взаимодействия с грунтом на разных этапах строительства с использованием наиболее апробированного и универсального метода физического моделирования – применение эквивалентных материалов.

Методы исследования

Казахский национальный технический исследовательский университет им. К.И. Сатпаева в рамках научного проекта осуществляет комплекс работ, направленных на обеспечение устойчивости наземных и подземных сооружений «Алматыметро» с использованием современных геодезических технологий. В зоне наблюдений находится монолитно-каркасное здание, возведенное в 2019 году, расположенное в непосредственной близости от станции метро «Москва». Рядом также располагается строительная площадка, где ведутся работы по проходке шахты метрополитена. Совокупное воздействие функционирующего метро и текущего строительства может потенциально оказывать неблагоприятное влияние на устойчивость рассматриваемого сооружения.

Полевые геодезические измерения выполнялись электронным тахеометром **Leica TS06 5"** в безотражательном режиме по устойчивым характерным точкам здания, что позволяет исключить влияние случайных изменений и обеспечивать стабильность наблюдений. Спутниковые наблюдения, проведенные на территории г. Алматы, обрабатывались в программном обеспечении **Leica SKI**, входящем в комплектацию GNSS-приемников. В результате обработки получены плановые координаты всех пунктов сети в локальной системе координат, а также уточнены высотные отметки реперов станции.

На наблюдаемых сооружениях установлены контрольные марки, мониторинговые призмы и осадочные марки, обеспечивающие получение высокоточных данных о деформациях зданий и инженерных сооружений в соответствии с действующими нормативными требованиями.

Для своевременного выявления недопустимых отклонений на зданиях и сооружениях установлены мониторинговые точки на верхних частях (крышах) (рис. 2), и нижних частях зданий.

Широкое применение в подобных исследованиях получили роботизированные тахеометры с сервоприводом, которые позволяют автоматически ориентировать прибор и выполнять непрерывное слежение за отражателями на значительных расстояниях. Такие инструменты оснащены специализированным программным обеспечением, обеспечивающим автоматическое считывание данных измерительных сеансов и вычисление возможных перемещений контрольных целей за заданный временной интервал [4, 5].

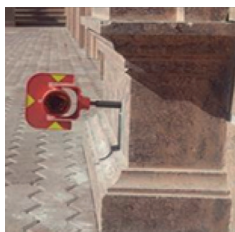
Основным направлением развития электронных тахеометров является еще большая роботизация, сводящая функции пользователя к дистанционному контролю и управлению работой прибора. Также присутствует тенденция к оснащению приборов системами GNSS. При этом тахеометры в комбинации с навигационными приемниками, цифровыми нивелирами и другими приборами, а также специальным управляющим программным обе-



а) Контрольные марки, мониторинговые призмы и осадочные марки установленные на здании



в) Мониторинговые точки на стенах здания



г) Мониторинговые точки на стенах здания

Рис. 2. Расположение контрольных марок на объекте. Сурет 2. Бақылау маркаларының объектеде орналасуы.

Figure 2. Location of control marks on the object.

спечением часто образуют специальные автоматизированные геодезические системы мониторинга [6].

Факторами широкого использования аппаратуры пользователей глобальных навигационных спутниковых систем являются: непрерывность определения координат, всепогодность, оперативность определения координат, высокая точность получаемых результатов, малые габариты и вес приемников, малая энергоемкость, простота эксплуатации и сравнительно невысокая стоимость. В этой связи, GNSS-системы могут быть эффективным инструментом при определении динамических показателей колебаний высотных зданий от ветровых воздействий.

Для проведения мониторинга и комплексной оценки состояния сооружений нами использовались современные высокоточные электронные приборы фирмы Leica Geosystems (Швейцария), такие как: высокоточный тахеометр серии TS06 5” и цифровой высокоточный нивелир DNA03, лазерный сканер Scanstation.

Геодезический мониторинг деформационных процессов является одной из форм изучения состояния инженерных объектов или урбанизированных территорий, на которых расположены эти объекты.

Результаты

Проведенный анализ результатов геодезических измерений показал, что мониторинговые точки, расположенные на исследуемом здании, испытывают преимущественно **равномерное оседание**. Подобная динамика смещений свидетельствует о протекающих естественных процессах уплотнения грунтов основания и постепенной усадки конструкций самого здания под воздействием собственного веса. Отсутствие резких скачков или неравномерных деформаций позволяет предположить, что наблюдаемые изменения находятся в пределах естественной деформации здания и не связаны с воздействием аварийных или крити-

ческих факторов. Тем не менее дальнейшее развитие строительных работ в непосредственной близости от объекта, а также влияние проходки шахты метрополитена требуют продолжения регулярного мониторинга для своевременного выявления возможных отклонений от нормального деформационного поведения сооружения.

На основе данных трех последовательных циклов наблюдений вычислены плано-высотные смещения мониторинговых точек и выполнено построение трехмерной цифровой модели объекта, позволяющей визуализировать пространственную эволюцию деформационных процессов (таблица 1).

**Таблица 1
Плано-высотные смещения мониторинговых точек
Кесте 1
Бақылау нүктелерінің жоспарлы-биіктік ауысуы
Table 1
Planned altitude shifts of monitoring points**

Октябрь 2025			
N%	X	Y	Z
M1	-0.001	-0.001	-0.006
M2	0.001	0.001	-0.005
M3	-0.000	-0.002	-0.008
M4	0.005	-0.002	-0.005
M5	-0.001	-0.002	-0.004
M6	0.004	-0.004	-0.00
M7	0.004	-0.004	-0.008
M8	-0.001	0.000	-0.005
M9	0.005	0.001	-0.007
M10	0.001	-0.001	-0.007
M11	0.000	-0.001	-0.005
M12	0.000	-0.001	-0.006
M13	0.001	-0.004	-0.008
M14	0.004	-0.002	-0.008
M15	0.000	-0.002	-0.007
M16	0.001	-0.001	-0.007
M17	-0.002	-0.004	-0.005
M18	-0.001	-0.004	-0.008
M19	0.001	-0.002	-0.004
M20	0.003	-0.002	-0.008
Сентябрь 2025			
N%	X	Y	Z
M1	0.005	0.002	-0.003
M2	0.002	0.001	-0.002
M3	0.004	0.002	-0.003
M4	0.000	0.003	-0.002
M5	0.005	0.003	-0.003
M6	0.001	0.005	-0.003
M7	0.000	0.005	-0.002
M8	0.005	0.000	-0.003

Продолжение таблицы 1

M9	0.000	0.000	-0.003
M10	0.004	0.003	-0.002
M11	0.004	0.003	-0.001
M12	0.003	0.003	-0.001
M13	0.002	0.005	-0.001
M14	0.000	0.003	-0.000
M15	0.003	0.003	-0.003
M16	0.002	0.003	-0.003
M17	0.005	0.005	-0.003
M18	0.005	0.005	-0.001
M19	0.002	0.004	-0.002
M20	0.001	0.002	-0.000
Ноябрь 2025			
N%	X	Y	Z
M1	-0.001	-0.001	-0.006
M2	0.001	0.001	-0.005
M3	0.000	-0.002	-0.008
M4	0.005	-0.002	-0.005
M5	-0.001	-0.002	-0.004
M6	0.004	-0.004	-0.005
M7	0.004	-0.004	-0.008
M8	-0.001	0.000	-0.005
M9	0.005	0.001	-0.007
M10	0.001	-0.001	-0.007
M11	0.000	-0.001	-0.005
M12	0.000	-0.001	-0.006
M13	0.001	-0.004	-0.008
M14	0.004	-0.002	-0.008
M15	0.000	-0.002	-0.007
M16	0.001	-0.001	-0.007
M17	-0.002	-0.004	-0.005
M18	-0.001	-0.004	-0.008
M19	0.001	-0.002	-0.004
M20	0.003	-0.002	-0.008
Сентябрь – ноябрь 2025			
N%	X	Y	Z
M1	0.0014	-0.0009	-0.0006
M2	0.0023	0.0002	-0.0005
M3	0.0014	-0.001	-0.0008
M4	0.0005	-0.001	-0.0006
M5	0.0024	-0.0009	-0.0005
M6	-0.0005	0.0021	-0.0005
M7	0.0004	0.0001	-0.0009
M8	-0.0016	-0.002	-0.0006
M9	-0.0015	0.0021	-0.0007
M10	0.0025	-0.0018	-0.0006
M11	0.0024	-0.0018	-0.0005
M12	-0.0007	0.0012	-0.0006

Продолжение таблицы 1

M13	0.0023	-0.0019	-0.0007
M14	0.0004	0.0021	-0.0009
M15	-0.0017	-0.0019	-0.0007
M16	-0.0017	0.0002	-0.0008
M17	-0.0007	-0.0019	-0.0004
M18	0.0024	0.0001	-0.0009
M19	0.0013	0.0012	-0.0005
M20	0.0004	-0.002	-0.0008

Данные этого этапа демонстрируют начальные значения оседаний, связанные, вероятно, с текущим состоянием грунтов основания и предварительной стадией усадки после начала мониторинговых измерений.

Между первым и вторым циклами наблюдений наблюдается дальнейшее уменьшение отметок в целом по зданию, однако темпы оседания остаются стабильными и равномерными по площади, что подтверждает отсутствие значительных дифференциальных деформаций.

Следующий временной интервал, охватывающий период между вторым и третьим циклами наблюдений, показывает сохранение общей тенденции постепенного оседания.

Сравнительный анализ данных между нулевым и третьим циклами позволяет получить интегральную картину деформаций за весь период мониторинга. Согласно полученным данным, максимальные смещения не выходят за пределы ожидаемых величин для зданий, эксплуатируемых в условиях сложной геотехнической обстановки мегаполиса. В то же время пространственная визуализация деформационного процесса (рис. 3) позволяет детализировать локальные особенности изменения положения характерных точек, выявить возможные зоны повышенной чувствительности к внешним воздействиям и оценить потенциальные риски, связанные со строительством объектов метрополитена в непосредственной близости от зданий.

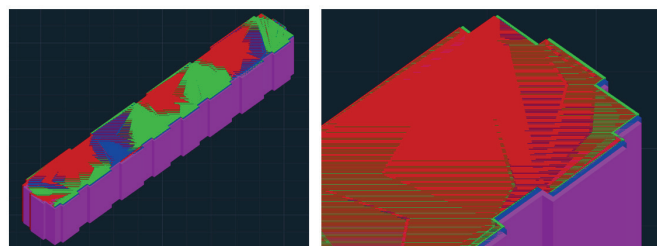


Рис. 3. Визуализация деформационного процесса.

Сурет 3. Деформация процесін визуализациялау.

Figure 3. Visualization of the deformation process.

Построенная трехмерная модель здания, включающая пространственные координаты всех мониторинговых точек и отражающая их динамику по циклам наблюдений, является важным инструментом для дальнейшего анализа и прогнозирования развития деформаций [7, 8]. Использование цифровых 3D-моделей в системе геодезического мониторинга позволяет выявлять тенденции изменения формы объекта, анализировать возможные сценарии раз-

вития деформаций и принимать своевременные инженерные решения для обеспечения безопасности сооружений в условиях плотной городской застройки и активного подземного строительства.

Анализ смещений в плане выполнен на основе компонентных изменений координат X и Y для всех мониторинговых точек (рис. 4).

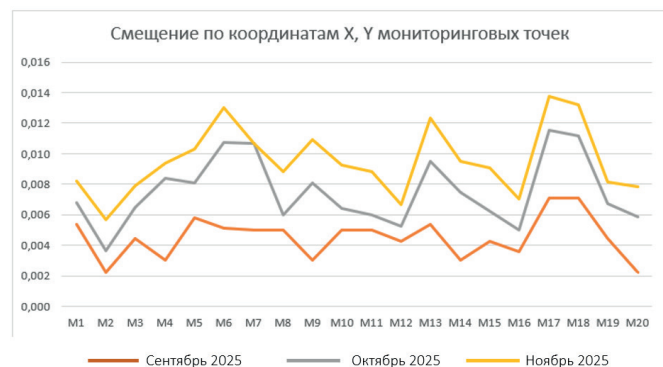


Рис. 4. Динамика смещения точек в плане.
Сурет 4. Жоспардағы нүктелердің орын ауысы динамикасы.

Figure 4. Dynamics of displacement of points in the plan.

Полученная динамика перемещений демонстрирует векторный характер осадок, при этом направления смещений остаются согласованными и не указывают на поворотные или креновые деформации здания. Это позволяет заключить, что горизонтальные перемещения носят равномерный характер и отражают общую тенденцию уплотнения основания под действием эксплуатационных нагрузок.

Установлено, что вертикальные осадки происходят постепенно и равномерно, их величина невелика и соответствует расчетным значениям, характерным для зданий данного типа и возраста [9]. Отсутствие резких скачков в графиках свидетельствует о стабильности геотехнического состояния основания, а также о том, что внешние воздействия – такие, как вибрации и изменение напряженно-деформированного состояния грунта при проходке тоннелей – пока не оказывают существенного негативного влияния на исследуемый объект.

Обсуждение результатов

Проведенные геодезические исследования и анализ результатов трех последовательных циклов мониторинга позволили установить, что деформационные процессы на исследуемом здании имеют равномерный и постепенный характер, обусловленный в первую очередь естественным уплотнением грунтов основания и усадкой конструкций под действием собственного веса [10, 11]. Выявленные

вертикальные и горизонтальные смещения мониторинговых точек находятся в пределах нормативно допустимых значений и не свидетельствуют о возникновении опасных или аномальных деформаций, способных повлиять на эксплуатационную надежность сооружения.

Построенные трехмерные модели и визуализация деформационных процессов подтвердили отсутствие локальных зон интенсивного смещения, а динамика изменения высотных отметок показала устойчивую тенденцию равномерного оседания без признаков крена или дифференциальных деформаций. Горизонтальные перемещения также характеризуются согласованностью направлений и малыми величинами, что подтверждает стабильность конструктивной системы здания в условиях воздействия подземного строительства.

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на текущем этапе влияния строительных работ по проходке метрополитена и близлежащей шахты на исследуемое здание не наблюдается. Однако сложная геотехническая обстановка района, наличие сейсмических факторов и продолжающееся строительство метро обуславливают необходимость продолжения регулярного геодезического мониторинга. Дальнейшие наблюдения позволяют своевременно выявлять возможные изменения в напряженно-деформированном состоянии сооружения и обеспечат надежную основу для принятия инженерных решений по его безопасной эксплуатации.

По данным мониторинга можно смело заявить, что сдвигения и просадки зданий имеют незначительные отклонения на 8–10 мм в плане и до 8 мм по высотным отметкам. Вновь построенные здания, такие как административное здание на Абая 90, жилой комплекс «Москва» и ТРЦ «Москва» исключены из результатов мониторинга, так как здания в первые годы постройки имеют естественные осадочные явления и составляют до 20 мм по высотным отметкам. В дальнейшем эти здания прекратили свою естественную осадку, но за недостаточностью проведенных циклов были исключены из результатов геодезического мониторинга.

Поскольку мониторинг продолжается, цифровая модель будет и далее уточняться и дополняться новыми данными.

Благодарность

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования РК (ГФ ИРН № AP26198837 «Геотехнический мониторинг зданий и сооружений в сейсмически опасных регионах путем разработки инновационных методов и средств наблюдения, обеспечивающих безопасность их эксплуатации»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Умирбаева В.Б., Мадимарова Г.С., Жантуева Ш.А. Организация системы наблюдений на Алматинском геодинамическом полигоне // *Маркшейдерия и недропользование*. 2019. № 2. С. 22–30 (на русском языке)
2. Нурпеисова М., Кыргызбаева Г., Орманбекова А. Геодезический мониторинг условий устойчивости инженерных сооружений // *Журнал инженерных и прикладных наук*. 2017. № 12. С. 9151–9163 (на английском языке)

3. Нурпеисова М.Б., Ормамбекова А.Е., Ормамбеков Е.Ж. Наблюдения за деформациями высотных зданий и сооружений // Горный журнал Казахстана. 2020. № 6. С. 27–31 (на русском языке)
4. А.с. № 63567 РК. Мониторинг вертикальных деформаций земной поверхности на Алматинском геодинамическом полигоне методом повторного нивелирования / Нурпеисова Т.Б., Мадимарова Г.С., Ормамбекова А.Е., Мадимаров Ж. Е.; заявл. 28.10.2025; опублик. 29.10.2025 (на казахском и русском языке)
5. Обследование и проведение ГНСС-мониторинга пунктов государственной геодезической сети на территории Казахстана / Мадимарова Г. [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, серия «Геология и технические науки». 2024. Т. 1. С. 179–189 (на английском языке)
6. Геодезический мониторинг деформаций высотного здания с использованием технологии наземного лазерного сканирования / Мадимарова Г. [и др.] // Журнал прикладных инженерных наук. 2022. Т. 20. № 4. С. 1083–1092 (на английском языке)
7. Новый метод мониторинга деформаций сооружений с использованием точного позиционирования по точке (PPP) / Жуйхуэй Ли [и др.] // Специальный выпуск «Инновационные решения точного позиционирования GNSS». 2023. № 15 (24). С. 21 (на английском языке)
8. Применение наземного лазерного сканирования (TLS) в архитектуре, инженерии и строительстве (АЕС) / Чао У [и др.] // Журнал Sensors, специальный выпуск «Современное состояние наземного лазерного сканирования». 2022. № 22 (1). С. 32 (на английском языке)
9. Инженерные нормы проектирования метрополитенов РК. 2013 (на русском языке)
10. Обзор исследований и применения TLS в мониторинге деформаций земной поверхности и сооружений / Цзинлун Тэн [и др.] // Журнал Sensors. 2022. № 22 (23). С. 19 (на английском языке)
11. Окиемуте Е., Оно М.Н., Олуджими О. Мониторинг и анализ вертикальных и горизонтальных деформаций крупного сооружения с использованием традиционных геодезических методов // Journal of Environment and Earth Science. 2018. № 8 (12). С. 52–61 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Өмірбаева В.Б., Мадимарова Г.С., Жантуева Ш.А. Алматы геодинамикалық полигонында бақылау жүйесін ұйымдастыру // Маркшейдерия және жер қойнауын пайдалану. 2019. № 2. Б. 22–30 (орыс тілінде)
2. Нурпеисова М., Қырғызбаева Г., Ормамбекова А. Инженерлік құрылыстардың тұрақтылығы жағдайларының геодезиялық мониторингі // Инженерлік және қолданбалы ғылымдар журналы. 2017. № 12. Б. 9151–9163 (ағылшын тілінде)
3. Нұрпейісова М.Б., Ормамбекова А.Е., Ормамбеков Е.Ж. Биік ғимараттар мен құрылыстардың деформацияларын бақылау // Қазақстанның тау-кен журналы. 2020. № 6. Б. 27–31 (орыс тілінде)
4. А.с. № 63567 ҚР. Қайта нивелирлеу әдісімен Алматы геодинамикалық полигонындағы жер бетінің тік деформацияларының мониторингі / Нурпеисова Т.Б., Мадимарова Г.С., Ормамбекова А.Е., Мадимаров Ж.Е.; 28.10.2025 мәлімдеді; 29.10.2025 жарияланды (қазақ және орыс тілдерінде)
5. Қазақстан аумағындағы мемлекеттік геодезиялық желі пункттеріне ГНСС-мониторинг жүргізу және тексеру / Мадимарова Г. [және т. б.] // Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының еңбектері, «Геология және техникалық ғылымдар» сериясы. 2024. Т. 1. Б. 179–189 (ағылшын тілінде)
6. Жердегі лазерлік сканерлеу технологиясын қолдана отырып, көп қабатты ғимараттың деформацияларын геодезиялық бақылау / Мадимарова Г. [және т. б.] // қолданбалы инженерлік ғылымдар журналы. 2022. Т. 20. № 4. Б. 1083–1092 (ағылшын тілінде)
7. Дәл нүктелік позициялауды (PPP) қолдана отырып, құрылымдардың деформациясын бақылаудың жаңа әдісі / Жуйхуэй Ли [және т. б.] // «GNSS инновациялық дәл позициялау шешімдері» арнайы шығарылымы. 2023. № 15 (24). Б. 21 (ағылшын тілінде)
8. Архитектурада, инженерияда және құрылыста (АЕС) жердегі лазерлік сканерлеуді (TLS) қолдану / Чао У [және т. б.] // Sensors журналы, «Жердегі лазерлік сканерлеудің қазіргі жағдайы» арнайы шығарылымы. 2022. № 22 (1). Б. 32 (ағылшын тілінде)
9. ҚР метрополитендерін жобалаудың инженерлік нормалары. 2013 (орыс тілінде)
10. Жер бетіндегі деформациялар мен құрылыстардың мониторингіндегі TLS зерттеулері мен қолданылуына шолу / Цзинлун Тэн [және т. б.] // Sensors журналы. 2022. № 22 (23). Б. 19 (ағылшын тілінде)
11. Окиемуте Е., Оно М.Н., Олуджими О. Дәстүрлі геодезиялық әдістерді қолдана отырып, ірі құрылымның тік және көлденең деформацияларын бақылау және талдау // Journal of Environment and Earth Science. 2018. № 8 (12). Б. 52–61 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Umirbaeva V.B., Madimarova G.S., Zhantueva Sh.A. Organizaciya sistemy nablyudeniy na Almatinskoy geodinamicheskom poligone [Organization of the observation system at the Almaty geodynamic polygon], Marksheiderya i nedropolzovanie [Surveying and Subsoil use]. 2019. No. 2. 22–30 pp. (in Russian)
2. Nurpeissova M., Kyrgyzbaeva G., Ormanbekova A. The Geodetic Monitoring of the Engineering Structures Stability Conditions // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. No. 12. 9151–9163 pp. (in English)

3. Nurpeisova M.B., Ormambekova A.E., Ormambekov E.J. Nablyudeniya za deformatsiyami vysotnykh zdaniy i sooruzheniy [Observations of deformations of high-rise buildings and structures], Gornyy zhurnal Kazakhstana [Mining Magazine of Kazakhstan]. 2020. No. 6. 27–31 pp. (in Russian)
4. Nurpeisova T.B., Madimarova G.S., Ormambekova A.E., Madimarov Zh.E. Monitoring vertikalnykh deformatsiy zemnoy poverkhnosti na Almatinskoy geodinamicheskom poligone metodom povtornogo nivelirovaniya [Monitoring of vertical deformations of the Earth's surface at the Almaty geodynamic polygon by repeated leveling. Copyright certificate No. 63567 dated 10/29/2025] (in Kazakh and Russian)
5. Inspection and carrying out gnss monitoring of points of the state geodetic network in the territory of Kazakhstan / Madimarova G. [et al.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2024. V. 1. 179–189 pp. (in English)
6. The geodetic monitoring of deformations of a high-rise building using ground-based laser scanning technology / Madimarova G. [et al.] // Journal of Applied Engineering Science 2022. V. 20. No. 4. 1083–1092 pp. (in English)
7. A new method for monitoring deformations of structures using precise point positioning (PPP) / Ruihui Li [et al.] // Sensors Magazine, Special Issue «Innovative GNSS Precision Positioning Solutions». 2023. No. 15 (24). 21 p. (in English)
8. Application of ground-based laser scanning (TLS) in Architecture, Engineering and Construction (AEC) / Chao Wu [et al.] // Sensors Magazine, Special Issue (State of the Art in Terrestrial Laser Scanning) The current state of terrestrial laser scanning. 2022. No. 22 (1). 32 p. (in English)
9. Engineering standards for designing subways of the Republic of Kazakhstan. 2013 (in Russian).
10. An overview of the research and application of TLS in monitoring deformations of the Earth's surface and structures / Jinglong Teng [et al.] // Sensors Magazine, «Development of Monitoring, Analysis and Maintenance of Infrastructures» (Development of Monitoring, Analysis and Maintenance Techniques of Infrastructures). 2022. No. 22 (23). 19 p. (in English)
11. Okiemute E., Ono M.N., Olujimi O. Monitoring and analysis of vertical and horizontal deformations of large structures using traditional geodetic methods // Journal of Environment and Earth Science. 2018. No. 8 (12). 52–61 pp. (in English)

Сведения об авторах:

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

Мадимарова Г.С., канд. техн. наук, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), g.madimarova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-9155-6332>

Милетенко Н.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории Многофазных процессов в массивах горных пород при разработке месторождений, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) (г. Москва, Россия), nmilet@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5594-3036>

Мадимаров Ж.Е., докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), 860712300267-D@stud.satbayev.university; <https://orcid.org/0009-0004-3001-4048>

Авторлар туралы мәліметтер:

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

Мадимарова Г.С., техника ғылымдарының кандидаты, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Милетенко Н.А., техника ғылымдарының кандидаты, Жер қойнауын басқару, игеру және сақтау мәселелері бөлімінің аға ғылыми қызметкері Академик Н.В. Мельников атындағы Жер қойнауын кешенді игеру мәселелері институты, Ресей Ғылым академиясы (ИПКОН РАН) (Мәскеу қ., Ресей)

Мадимаров Ж.Е., «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының докторанты, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

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

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

Miletenko N.A., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Department of Management, Development and Conservation of the Earth's Interior, The Institute of Problems of Integrated Development of Mineral Resources named after academician N.V. Melnikov, Russian Academy of Sciences (IPCON RAS) (Moscow, Russia)

Madimarov Z.E., Doctoral student of the Department of Mine Surveying and Geodesy, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.01.83

*А.Е. Гольберт

(г. Менхенгладбах, федеральная земля Северный Рейн – Вестфалия, Германия)

ГОРНАЯ МЕХАНИКА: НОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СТАРОГО ТЕРМИНА

Аннотация. В статье рассматриваются объекты и направления исследований в одном из разделов горной науки, который называется «Горная механика». По всей видимости, устойчивое словосочетание «Горная механика» как термин имеет отношение скорее к сложившейся в советской и российской горной науке традиции, чем к формальной семантике. По сути, горная механика распалась на отдельные отрасли. Автор предлагает выделить новый, существенно отличающийся от существующего, раздел горной науки и назвать его старым термином «Горная механика»... Рождение этого раздела на практике можно связать с важными событиями в новейшей истории СССР, а именно – с восстановлением затопленных шахт Донбасса во время и сразу после Великой Отечественной войны 1941–1945 годов.

Ключевые слова: горная наука, горная механика, шахта, стационарная установка, стационарная машина, эрлифт, предмет исследования, общее местоположение, оптимальная компоновка, совместная эксплуатация.

Тау жыныстары механикасы: ескі терминнің жаңа түсіндірмесі

Аңдатпа. Бұл мақалада тау-кен ғылымының «Тау-кен механикасы» деп аталатын саласының нысандары мен зерттеу бағыттары қарастырылады. Шамасы, «Тау-кен механикасы» деген тұрақты сөз тіркесі термин ретінде оның ресми семантикасына қарағанда кенестік және ресейлік тау-кен ғылымындағы қалыптасқан дәстүрге көбірек қатысты. Негізінде, тау-кен механикасы бөлек салаларға бөлшектенген. Автор тау-кен ғылымының қолданыстағыдан айтарлықтай өзгеше жаңа саласын анықтап, оны ескі «Тау-кен механикасы» терминімен атауды ұсынады. Бұл саланың пайда болуын іс жүзінде КСРО-ның соңғы тарихындағы маңызды оқиғалармен, атап айтқанда, 1941–1945 жылдардағы Ұлы Отан соғысы кезінде және одан кейін Донбасста су басқан шахталарды қалпына келтірумен байланыстыруға болады.

Түйінді сөздер: тау-кен ғылымы, тау-кен механикасы, шахта, стационарлық орнату, стационарлық машина, әуе көлігі, зерттеу тақырыбы, жалпы орналасуы, оңтайлы орналасуы, бірлескен пайдалану.

Mining Mechanics: a new interpretation of an old term

Abstract. This article examines the objects and research directions of a branch of mining science called «Mining Mechanics». Apparently, the fixed phrase «Mining Mechanics» as a term relates more to the established tradition in Soviet and Russian mining science than to its formal semantics. Essentially, mining mechanics has fragmented into separate branches. The author proposes identifying a new branch of mining science, significantly different from the existing one, and calling it by the old term «Mining Mechanics». The emergence of this branch can be linked in practice to important events in the recent history of the USSR, namely, the restoration of flooded mines in the Donbass during and immediately after the Great Patriotic War of 1941–1945.

Key words: mining science, mining mechanics, mine, stationary installation, stationary machine, airlift, research subject, general location, optimal layout, joint operation.

Горная механика, как известно, исследует стационарные установки горнодобывающих предприятий. Она изучает принципы работы, назначение, устройство, техническую эксплуатацию (иногда и ремонт) стационарных машин и соответствующих установок в целом. К стационарным установкам относятся вентиляторные, водоотливные, пневматические и подъемные установки. Иногда к ним добавляют калориферные и воздухоохладительные установки. Существуют термины, отражающие реальность: «стационарные установки шахт», «стационарные установки рудников», «стационарные установки карьеров (разрезов)». Нередко их используют по отдельности, например, «водоотливная или подъемная (стационарная) установка шахты», см. также [1, 2, 3]. Вместе с тем термин «Горная механика» (далее ГМ) до сих пор окончательно не вышел из употребления и используется, например, в названии известного учебника [4], иногда даже неверно или неоднозначно, как, например, в работе [5]. Однако, как нам представляется, в любом случае – необоснованно... Автор настоящей статьи предложил использовать его по-новому, то есть придать ему смысл, отличный от существующего.

Основная часть

По всей видимости, со времени своего основания горнозаводская механика, позднее ГМ, занималась изучением механизации всех процессов в горном производстве. Она описывала, обобщала и исследовала все существовавшие на то время и вновь создаваемые горные машины. Конечно, самое большое внимание уделялось стационарным машинам и установкам как наиболее важным производственным объектам, без которых горные предприятия с

промышленным уровнем добычи даже тогда не могли существовать. В то же время горные машины других функциональных групп, если и существовали, то находились «в зачаточном состоянии». Позже, по мере реального их развития, произошла дифференциация соответствующих дисциплин. К ГМ отошли те, которые к тому времени были исследованы ее силами в значительной степени, и это, как уже упоминалось, – подъемные, вентиляторные, водоотливные и пневматические стационарные установки. Дифференциация и интеграция – нормальные процессы в поступательном развитии науки, которые не могут быть адекватно оценены исключительно «сиюминутными результатами», куда важнее – перспектива...

Размышления в этом ключе подвели нас к мысли о том, что в периоды своего основания и становления ГМ не была органичной цельной научной дисциплиной, и что для начала – это нормально. Но не произошло этого и после упомянутого разделения, когда ГМ осталась в формально существующем до настоящего времени виде. Таким образом, констатируем: центробежные тенденции уже возобладали. Куда может быть направлен вектор последующих структурных преобразований? Об этом дальше и пойдет речь.

Если задаться целью, можно заметить, что существующие, даже формально, границы исследований ГМ точно не определены, а местами, наверное, и совсем размыты. Таким положением отчасти можно объяснить практически независимое друг от друга существование и развитие отдельных дисциплин в ГМ как самостоятельных. Так или иначе, но ГМ как единого раздела горной науки с определенной структурой сегодня не существует. Словом, полагаем, что необходимо создать или основать – если позво-

лительно так выразиться, – ГМ заново. Стало быть, прежде всего следует попытаться определить предмет исследования новой отрасли горной науки со старым, привычным названием. И в предложении к рассмотрению именно этого предмета, определяющего по существу структуру и содержание пока неизвестной ГМ, включающего в себя теоретические и прикладные исследования, заключается идея настоящей работы.

Нет особой нужды обстоятельно останавливаться на различиях между понятиями «стационарная машина» и «стационарная установка». Однако именно эти понятия считаем необходимым развести – если можно так выразиться – на действенном уровне. Таким образом, исследование стационарных машин как таковых – насколько это возможно с минимальным ущербом для последующих результатов – следует вывести за пределы интересов ГМ. Так, стационарные компрессоры, применяемые во многих отраслях промышленности, давно являются предметом изучения специальной научно-технической отрасли, в арсенале которой имеются специфические теоретические и экспериментальные исследования. Во многом все сказанное о компрессорах может быть распространено на насосы и вентиляторы. В то же время, на исследования подъемных машин со сложными приводами и тормозными системами это правило не распространяется в полной мере. И в этом случае, чаще, как минимум, чем в других, специалисты в области ГМ могут сотрудничать со специалистами смежных научных дисциплин на постоянной основе.

Мы предлагали на суд инженерной общественности проект – нашу точку зрения на предмет исследования предложенной нами обновленной ГМ [6, 7]. Она была оценена неоднозначно, и ее следует уточнить, как предложено ниже.

ГМ – это раздел горной науки, или техническая отрасль научных знаний, изучающая устройство и эксплуатацию стационарных установок горнодобывающих предприятий. При этом исследованиями стационарных машин, за исключением исследований на предмет их регулирования и эксплуатации в составе стационарных установок, ГМ не занимается. Если стационарные машины (вид, ряд, модификация, тип и т. д. машин) исследуются с целью применения исключительно в горном деле или такое применение существенно влияет на их принцип работы, конструкцию, схему и т. п., то исследования, отражающие влияние этой специфической эксплуатации, входят в круг интересов ГМ. И в этой части научных работ специалисты ГМ должны сотрудничать со специалистами других смежных научных отраслей. Разумеется, любое из приведенных утверждений не догма, и могут быть обоснованные исключения из правил, но важно все же, чтобы эти правила были.

Итак, не занятая теоретическими исследованиями стационарных машин, ГМ может сосредоточиться на других значимых компонентах стационарных установок. При этом наряду с параллельными исследованиями разных установок, внимание должно быть уделено совмещенным (!) их исследованиям, потому что на стыке существующих научных направлений ГМ можно ожидать значительных достижений, в том числе и по созданию новых, более совершенных стационарных установок.

Результатом наших наблюдений и размышлений о том, что может быть тем цементом, который скрепляет воедино все стационарные установки и дает основание модифицированной ГМ быть цельной научной дисциплиной, стало следующее. В основе такого единства – не общность физических процессов и принципов работы, не идентичность конструкций компонентов и установок в целом (у лопастных машин и установок канатного подъема ее нет), – а «функциональное подобие» компонентов стационарных установок совершенно разных видов и систем. Если посмотреть на вентиляторные, насосные, компрессорные и подъемные установки всех систем глубже, с точки зрения непосредственно выполняемой функции и безотносительно реализуемой цели (назначения), то станет ясно, что все они являются транспортирующими средствами. Таким образом, в одних по выполняемой функции стационарных установках могут быть применены компоненты других стационарных установок. Предельный случай такого преобразования – это когда модифицированная установка одного вида будет выполнять функции установки другого вида. И предпосылкой этого является общее местоположение отдельных значимых компонентов разных установок. Прежде всего, таким местом является ствол шахты с примыкающими к нему копром и околоствольным двором (приствольными камерами). Однако это могут быть и другие горные выработки, например, водосборники.

Теперь дадим некоторые разъяснения относительно стационарных машин. Такие машины должны быть в центре внимания интеллектуальных сил ГМ. И задача ГМ состоит в том, чтобы оптимально их выбирать, регулировать, варьировать их возможности и ими самими в разных стационарных установках. Стационарная машина, разумеется, – обязательный компонент установки, но не обязательный компонент установок только одного вида. Машинами в установках при проектировании можно варьировать, они, как варианты устройства конкретной установки, могут «конкурировать» между собой. В реализации таких исследований – одна из целей данной науки. Так, например, машина-насос (углесос) может нетрадиционно использоваться в грузовой подъемной установке на наклонном стволе для выдачи на поверхность водоугольной смеси; подъемная машина – в водоотливной установке (водоотлив подъемными сосудами – скипами или бадьями); пневмоэнергетическая машина – компрессор в грузовой подъемной и водоотливной установках (эрлифт). В одной установке может быть применено несколько однородных стационарных машин. Это многоступенчатый канатный подъем на сверхглубоком вертикальном стволе, а также – водоотлив на глубоком вертикальном стволе с последовательно включенными основными или основными и подпорными центробежными или другими насосами. Могут быть использованы в одной установке и разные стационарные машины. Например, подъемная машина и насос. Это водоотлив подъемными сосудами, в которые закачивают воду насосами. В водоотливной установке насос может работать и последовательно с эрлифтом, что позволит поднимать откачиваемую воду на высоту, значительно превышающую технические возможности работающих независимо друг от друга таких насоса и эрлифта. И тут

также присутствует взаимодействие двух стационарных машин – насоса и компрессора в одной установке.

Ранее было указано, что стационарные установки обнаруживают свойства, обусловленные совмещенной их эксплуатацией в пространстве. В числе прочих свойств – взаимосвязь, а иногда и «взаимозависимость». Возможно существование общих компонентов, которые попеременно или одновременно выполняют свои функции в разных установках. Таким компонентом, в частности, может быть стационарная машина. Или, например, трубопровод, служащий для откачки воды из шахты на поверхность, при заранее спроектированной системе отводов и задвижек, в случае необходимости, может играть роль воздухопровода, питающего подземное предприятие пневмоэнергией. Полный проводник подъемной установки после реализации некоторых специальных технических решений может служить одновременно проводником и трубопроводом, осуществляющим вместе со своей первоначальной функцией выдачу из шахты воды или подачу в нее сжатого воздуха по изобретению автора [8]. При этом проводник-трубопровод будет работать одновременно наружной и внутренней своими поверхностями, не говоря о других положительных эффектах данного технического решения.

Взаимодействие стационарных установок может быть не только прямым, но и опосредованным. При этом установки, как и в первом случае, связаны функционально. В качестве примера – изобретение автора [9]. В соответствии с данным техническим решением разгрузочная лядя проходческого бадейного комплекса используется на вентиляционном стволе эксплуатируемой шахты. Такая лядя служит одновременно устройством для разгрузки подъемных сосудов (бадей) и при этом является вентиляционной дверью шлюза, предотвращающей работу вентилятора главного проветривания шахты на рециркуляцию. Другими словами, она одновременно обеспечивает поддержание нормальных параметров воздушной струи, проветривающей шахту, и нормальную работу подъемной установки, обслуживающей углубку вентиляционного ствола действующего горнодобывающего предприятия. В описанном изобретении (устройстве) модифицированная разгрузочная лядя является неотъемлемым оборудованием подъемной установки. В то же время эта же лядя является и вентиляционной дверью – устройством системы вентиляции шахты, дополняющим функцию вентиляторной установки. Итак, можно видеть целесообразное взаимодействие двух стационарных установок, которое, как минимум, позволило значительно упростить работу бадейного комплекса в вентиляционном стволе или вообще сделало ее возможной в этих непростых условиях.

Заключение

Итак, мы привели далеко не полный перечень известных вариантов нестандартного применения стационарных машин и других компонентов стационарных установок. Еще больше оригинальных технических решений в этой области остаются пока неизвестными. Действительно, поле для поиска весьма обширно, даже если исследование

и создание собственно стационарных машин останутся за его пределами.

Эффективное и повсеместное использование возможностей совместной эксплуатации стационарных установок шахт и их компонентов на практическом уровне мы наблюдаем в новейшей истории Советского Союза, во время и сразу после Великой Отечественной войны. В период восстановления взорванных и затопленных шахт откачка воды из них начиналась сразу после отступления немецко-фашистских захватчиков. Это масштабное событие в СССР, в основном на шахтах Донбасса, по существу и является, с нашей точки зрения, отправной точкой, или временем и местом рождения той ГМ, которую мы до сих пор настойчиво предлагаем основать [10], рис. 1¹.



Рис. 1. Распределение количества воды по горизонтам шахт Донбасса.

Сурет 1. Донбасс шахталарының горизонттары бойынша су мөлшерін бөлу.

Figure 1. Distribution of the amount of water along the horizons of the Donbass mines.

В Постановлении Совета Министров СССР «О присуждении Сталинских премий за выдающиеся изобретения и коренные усовершенствования методов производственной работы за 1947 год» (опубликовано в газете «Правда» 3 июня 1948 года) значилось: присудить Сталинскую премию Первой степени руководителям и специалистам (в том числе главным механикам и главным конструкторам) за разработку и внедрение передовых методов откачки затопленных шахт Донбасса и восстановление горного оборудования, значительно ускоривших темпы восстановления Донбасса. В списке награжденных – 17 лауреатов. Мысленно оглядываясь в то непростое время, можно предположить, что достойных было намного больше. Эти замечательные страницы отечественной истории могут служить ретроспективным свидетельством обоснованности наших притязаний на основание нового раздела горного дела, имеющего предложенный нами предмет изучения.

Выводы

Сегодня ГМ как раздел горной науки или научная дисциплина с единой структурой по сути дела не существует. Она распалась на отдельные отрасли, занимающиеся

¹См. журнальную статью [10], которую приводим ниже в весьма сокращенном виде (см. рис. 1).

стационарными машинами, нередко и соответствующими установками. И собственно, термин ГМ в значительной мере вышел из употребления. Полагаем, что под этим названием должен существовать раздел горной науки, предмет исследований которого необходимо обозначить, исходя из реальных предпосылок. Суть не в том, что нужно найти предмет исследований именно ГМ. Требуется, насколько это возможно, верно обнаружить и обозначить область потенциальных синтетических научно-технических исследований, которая образовалась в сфере почти не связанных между собой дисциплин, существующих под вывеской ГМ. А назвать эту область можно как угодно. Мы предлагаем – ГМ. По нашему замыслу, вновь образованной ГМ нужно сосредоточить основные творческие усилия не на изучении и производстве стационарных машин, а на исследовании проблем создания, оптимальной компоновки и совместной эксплуатации стационарных установок для широкого спектра условий горных предприятий. Большое число уже состоявшихся работ подпадает под предложенное определение ГМ [12]². Немало работ, связанных с исследованием стационарных машин, не подпадают. Однако разделение, или отделение от ГМ научных дисциплин, без нее, по существу, уже сложившихся и «говорящих» порой на понятном только им языке, считаем целесообразным и актуальным.

Приведем статью [10]. Фактический материал этой журналистской работы не представляется нам вполне достоверным, однако это замечание не умаляет в целом масштабности описанных в ней событий.

Л. Давыдов

Изгнание подземного моря

Всенародным признанием победы советских инженеров – восстановителей Донбасса – явилось присуждение им в нынешнем году Сталинской премии первой степени. Список лауреатов открывают руководитель работ Н.Н. Игнатов, А.Т. Картозия, В.А. Хорунжий, Н.М. Чернавкин, В.Г. Гейер – коллектив молодых советских людей, пришедших в Донбасс еще в дни войны, чтобы возглавить грандиозные восстановительные работы. В группе восстановителей Николая Игнатова, молодого инженера, окончившего незадолго перед войной институт, были и старые шахтеры, и опытные хозяйственники, и ровесники Николая, товарищи по студенческой аудитории. Доцент Сталинского угольного института, кандидат технических наук В.Г. Гейер помог смело решить многие задачи по конструированию новых, неведомых раньше водоотливных средств (рис. 2). Он первым ввел в битву с водой воздухоподъемные насосы – эрлифты. Начальник Главшахтвосстановления А.Т. Картозия руководил оперативной группой по откачке воды из шахт Горловско-Енакиевского бассейна. Это были особенно сильно разрушенные и затопленные шахты. Их возрождение американские специалисты считали мифом. Инженер Н.М. Чернавкин активно разрабатывал основные направления по технике и организации восстановительных работ. Ему принадлежат многие оригинальные схемы скоростных

способов откачки воды. Главный механик комбината «Сталинуголь» В.А. Хорунжий первым предложил и помог превратить скиповые подъемники на шахтах в своеобразные водовозы. Инженер В.А. Мартынов ввел в арсенал водоотливных средств телескопические сальники и многое другое. В истории известен лишь один подобный случай – борьба французских горняков, освобождавших от воды рудники угольных бассейнов Па-де-Кале и Северного после Первой империалистической войны. Но на французских рудниках пришлось выкачать 110 миллионов кубометров воды, а из шахт Донбасса было изгнано целое море, содержащее 600 миллионов кубических метров воды. К началу восстановительных работ подземное море содержало в себе 250 миллионов кубометров воды. Но оно росло. В каждый час добавлялось по 25 тысяч кубометров. Вот почему фашисты и многие зарубежные «доброжелатели» считали Донбасс навсегда загубленным, потерянным для России. В одних шахтах надо работать в водолазном скафандре, иначе туда не проникнуть. К другим не пройти без противогаза, потому что в них выделяется ядовитый газ – метан. Наконец, немало шахт оставалось еще заминированными. Качать воду нельзя без моторов. Но большая влажность воздуха угрожала вывести из строя электродвигатели. Качать воду нельзя без насосов. Но обилие кислот в шахтной воде сулило большие беды – механизмы насосов подвергались постоянной опасности разъедания и порчи. «Не вычерпать подземное море из шахт Донбасса», утверждали заокеанские специалисты и эксперты. Но донецкие шахтеры, наперекор трудностям, принялись восстанавливать былую славу «всесоюзной кочегарки», хранилища самого высококалорийного угля. Не было мощных двигателей, отсутствовали специальные подвесные насосы для вертикального подъема воды. Они сами монтировали механизмы, соорудили свои оригинальные установки, приспособили обычные горизонтальные насосы к действию на больших глубинах. Уже через год после начала работ донбассовцы откачали свыше 110 миллионов кубометров воды, то есть столько, сколько французы смогли выкачать за 10 лет. Из первых освобожденных от воды шахт был выдан донецкий уголь. Еще через три года шахтерам удалось завершить героический штурм подземного моря. Оно отступило, ушло из шахт Донбасса. На поверхность выгнали 600 миллионов кубометров воды. Шахту можно себе представить в виде огромного дома, врезанного вглубь земли. На поверхности это был бы дом высотой в 200 этажей, так как стволы уходят в глубину на 700–1000 метров, и, чтобы достать воду, заставить ее бить фонтаном километровой высоты, нужны агрегаты сказочного могущества. Советские инженеры решили перегонять воду постепенно, по ступеням-этажам. Вот как они это осуществили. Обычный горизонтальный центробежный насос стал совершать путешествие по стволу шахты в специальной клетке. Он мог опуститься на большую глубину. В наклонных стволах насос передвигался на особой тележке. И хотя сил у насоса не прибавилось, и он нагнетал воду на 40–50 м вверх, на этой высоте его ждала помощь – вто-

²Книга [12], с нашей точки зрения, является хрестоматийной работой по обновленной горной механике, или по ГМ, определение которой предложено нами выше.

рой насос. Он, в свою очередь, перебрасывал воду еще на полсотни метров вверх, передавая ее во власть третьего насоса. Так, поднимаясь от насоса к насосу, словно по ступенчатой лестнице все вверх и вверх, вода освобождала «черное золото», которым, казалось, навсегда завладела. Но одними насосами невозможно было бы вычерпать подземное море. Поэтому в отряде машин водоотлива появились специально сконструированные скипы – большие металлические ящики с простейшим клапаном в дне. Скипы спускались в стволы на тросах, зачерпывая сразу по 5–7 кубометров воды, и таскали ее на поверхность. Машинист, управлявший лебедкой скипа, успевал сделать за час до 60 подъемов. А на шахте 17-бис треста «Рутченковуголь» скипы за один час вывозили до 1200 тонн воды. Но и скипы требовали помощи. Были шахты, загроможденные обломками, со стволами, изуродованными при взрывах надшахтных сооружений. В таких стволах нередко оставались только очень узкие проходы: ни скип, ни насос не опустить. Донбассовцы применили эрлифт – воздухоподъемник, конструкцию, изобретенную когда-то русским инженером Шуховым. Раньше воздухоподъемными насосами пользовались для перегонки нефти, тяжелых масел и т. д. Но в Донбассе их научили поднимать воду. Эрлифтный насос действует с помощью сжатого воздуха. В нем нет ни поршней, ни штоков, ни клапанов, ни одной движущейся части. Он состоит из длинной трубы переменного сечения, на нижнем конце которой, погруженной в воду, насажен «башмак» – смеситель. В «башмак» нагнетается воздух. Он смешивается с водой, и полученная воздушно-водяная смесь, подобная пене, имея меньший удельный вес, чем у воды, вытесняется гидростатическим давлением воды. Тысячу кубометров воды поднимал эрлифт в час, расходуя при этом всего лишь 6–7 кубометров воздуха на каждый кубический метр воды. Кое-где и эрлифты оказались слабы. Тогда их соединяли с насосами. Эрлифт перегонял воду из нижнего горизонта в бассейн, а оттуда ее забирали насосы. Таким путем возродили в 1945 году шахту имени Ворошилова. Эрлифт в паре с насосом поднимал в час 1200 кубометров. За 8 месяцев из шахты имени Ворошилова выкачали 2 миллиона кубометров воды. Однако нашлись шахты, где от эрлифтов пришлось отказаться. Их заменили гидроэлеваторы – пришельцы с золотых рудников. Там они транспортировали пульпу – жидкий маслянистый состав, увлекавший с собой частицы золота. Но в Донбассе гидроэлеватор был вынужден качать воду. Он мал по размерам, не имеет движущихся частей, конструктивно несложен. Он работает подобно пульверизатору, в котором вода втягивается в трубу не быстрой струей воздуха, а струей воды, нагнетаемой небольшим насосом по специальной трубе. Гидроэлеваторы научились делать в шахтерских мастерских. Они с успехом добирались к воде сквозь самые узкие щели. А удивительная неприхотливость гидроэлеваторов, способных вымачивать воду, загрязненную леском и камешками, заставила шахтеров с еще большим уважением относиться к этим замечательным машинам.

Часто в шахтных выработках кровля состоит из неустойчивых глинистых сланцев, которые являются причиной за-

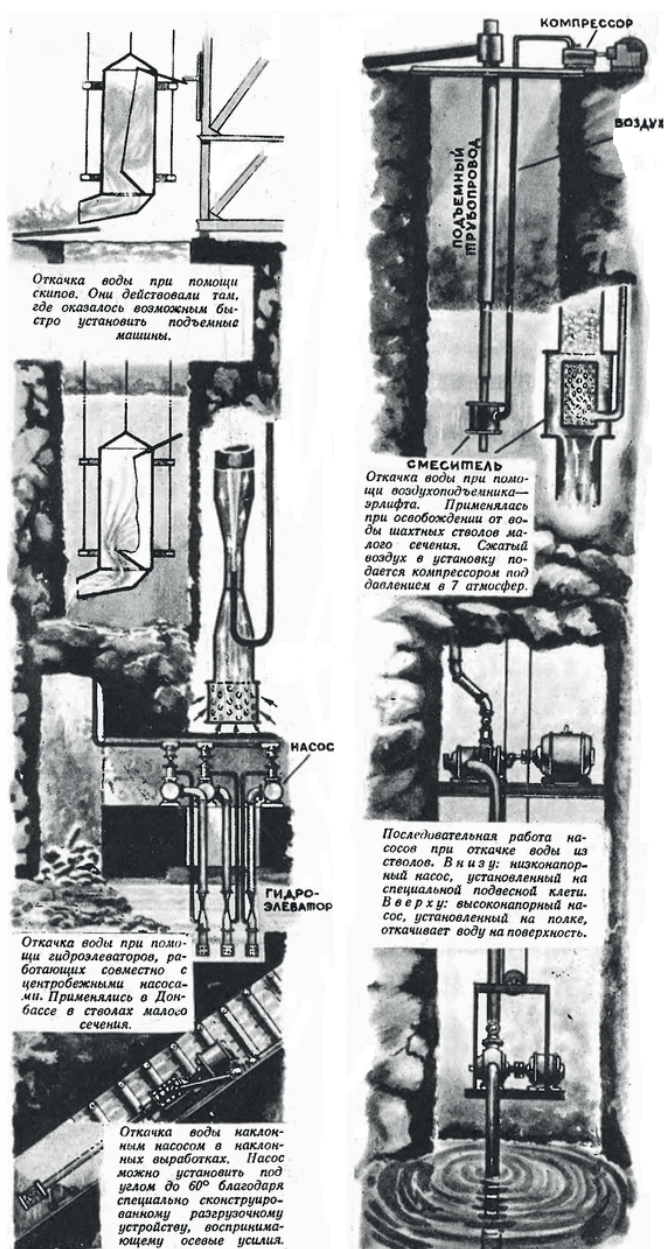


Рис. 2. Способы и технические средства, с помощью которых была реализована откачка воды из затопленных шахт Донбасса.

Сурет 2. Донбасстың су басқан шахталарынан су айдау жүзеге асырылған тәсілдер мен техникалық құралдар.

Figure 2. Methods and technical means by which pumping of water from the flooded mines of Donbass was realized.

валов. Как же тут быть? Надо и воду качать, и завал убирать. А насос устанавливается только на ровной горизонтальной площадке. Так уж рассчитана его работа – он лишен упорных подшипников. Но разве нельзя сконструировать насос иначе? «Помочь ему хорошо сопротивляться осевой нагрузке и заставить действовать и помещаться на склоне?» Можно, это доказали инженеры Донбасса. Мы толковали о машинах. Их было много, больших и малых. Но самый легкий водоотливный механизм весил все-таки несколько тонн. Попробуйте

его быстро перенести, переставить или перебросить с одного горизонта на другой вслед за отступающей водой. А это было нужно. И донбассовцы сконструировали двухэтажные клетки, на которых размещалось несколько действующих насосов одновременно. В ходе работ автоматизировали управление шахтными водоотливными установками. Добились большой экономии электроэнергии, уменьшения числа людей, занятых на выкачке воды. Но все технические новинки сами по себе могли бы не привести к успеху, если бы наши инженеры не предусмотрели четкой организации работ. Они заставили механизмы работать в строгом взаимодействии. На разных шахтах производительность механизмов подчинялась одному строгому общему режиму. Зачем же нужно было принаравливать разные машины на равных шахтах к одному темпу? К чему нужно было поддерживать определенный уровень водяного зеркала на различных рудниках? Это легко понять, если представить себе подземное море не суммой разобщенных, изолированных друг от друга затопленных шахт, а действительно настоящим сплошным морем. Наличие сбоек между шахтами послужило образованию огромных подземных бассейнов. Только один из них, на Горловско-Енакиевской группе шахт, имел объем, равный 20 миллионам кубометров. Лишь одинаковый скоростной режим, освоенный на пяти шахтах этой группы, только единый стахановский темп выкачки воды, когда на учете была буквально каждая секунда, привели к победе.

Через 6 месяцев редакция журнала публикует дополнение [11] к статье [10], в котором дополняются и уточняются данные о советской горной технике. Авторы письма отмечают следующее. Донбассовцами были применены различные

способы откачки воды. Применялись эрлифты – воздухоподъемники, в которых для подъема воды использовался сжатый воздух. Однако откачка рудников сжатым воздухом на Урале известна уже с 1921 года, когда инженером А.И. Веселовым было осушено несколько рудников Соймановской долины. Веселовым была разработана и теория этого вопроса. Теория и практика применения эрлифтов были изложены Веселовым в 1926–1928 годах (журнал «Уральский техник», 1927–1928 гг., «Труды 1-го Горного научно-технического совещания», 1928 г.). При откачке шахт применяются также скипы – водоотливные машины, представляющие собой большие металлические ящики, зачерпывающие воду и вытаскивающие ее на поверхность. Авторы письма уточняют, что этот способ является вспомогательным и применяется в сочетании с другими, более экономичными методами.

Приведем аннотацию к работе [12].

В книге «Откачка шахт при восстановлении Донбасса» обобщается опыт откачки воды из затопленных шахт Донецкого бассейна за время его восстановления (1943–1948 гг.). В книге приводятся характеристики затопленности шахт, объемы воды в них и естественные притоки, описание оборудования и приспособлений, применявшихся при откачке шахт, схемы откачки и организация работ. Заключительная глава посвящена итогам работ по откачке затопленных шахт Донбасса. Книга предназначена для инженерно-технических работников.

Эта работа, с нашей точки зрения, до сих пор – прошло 75 лет после ее издания – не утратила своей актуальности, как минимум, в качестве практического руководства и учебного пособия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стационарные установки шахт / В.С. Дулин, Г.А. Бабак, В.В. Пак [и др.]. М.: Недра, 1977. 438 с. (на русском языке)
2. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахтные вентиляторные и водоотливные установки. М.: Недра, 1987. 268 с. (на русском языке)
3. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок. Нормативное производственно-практическое издание / В.Р. Бежок, В.Д. Конопляной, Е.М. Курченко [и др.]. Донецк: Донеччина, 2009. 672 с. (на русском языке)
4. Хаджиков Р.Н., Бутаков С.А. Горная механика: Учебник для горных техникумов. М.: Недра, 1982. 407 с. (на русском языке)
5. Курбатова О.А., Харин А.З. История развития горной механики: учеб. пособие: Владивосток: ДВГТУ, 2004. 137 с. (на русском языке)
6. Гольберт А.Е. Неизвестная горная механика: предмет исследований // Уголь. 2005. № 2. С. 22–24 (на русском языке)
7. Гольберт А.Е. Обновленная горная механика: определение поля исследований // Горный журнал Казахстана. 2011. № 2. С. 44–47 (на русском языке)
8. Пат. № 2106562, Российская Федерация, МКИ 6 F16L 1/00. Трубопровод / Гольберт А.Е.; заявитель и патентообладатель Гольберт А.Е. – № 93036979/06; заявл. 20.07.1993; опубл. 10.03.1998, Бюлл. № 7 (на русском языке)
9. Пат. 2027009, Российская Федерация, МКИ 6 E 21D 1/00. Надствольное подъемно-транспортное устройство / Гольберт А.Е.; заявитель и патентообладатель Гольберт А.Е. – № 5058495/03; заявл. 11.08.1992; опубл. 20.01.1995, Бюлл. № 2 (на русском языке)
10. Давыдов Л. Изгнание подземного моря // Техника – молодежи. 1948. № 10. С. 19 – 21 (на русском языке)
11. Письмо горных инженеров-электромехаников П.Я. Фролова, В.А. Шавшукова, И.Ф. Ефремова, Ю.М. Велякина (г. Свердловск) // Техника – молодежи. 1949. № 4 (на русском языке)

12. Игнатов Н.Н., Гейер В.Г., Чернавкин Н.Н. Откачка шахт при восстановлении Донбасса: М.: Углетехиздат, 1950. 194 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Стационарлық шахта қондырғылары / В.С. Дулин, Г.А. Бабак, В.В. Пак [және т. б.]. М.: Недра, 1977. 438 б. (орыс тілінде)
2. Гейер В.Г., Тимошенко Г.М. Шахта желдеткіші және дренаждық қондырғылар: М.: Недра, 1987. 268 б. (орыс тілінде)
3. Бежок В.Р., Конопляной В.Д., Курченко Е.М. Шахта көтергіш қондырғыларын тексеру, реттеу және сынау бойынша нұсқаулық. Нормативтік өндіріс және практикалық басылым: Донецк: Донецкчина, 2009. 672 б. (орыс тілінде)
4. Хаджиков Р.Н., Бутаков С.А. Тау-кен механикасы: тау-кен колледждеріне арналған оқулық: М.: Недра, 1982. 407 б. (орыс тілінде)
5. Курбатова О.А., Харин А.З. Тау-кен механикасының даму тарихы: оқулық: Владивосток: ДВГТУ, 2004. 137 б. (орыс тілінде)
6. Гольберт А.Е. Белгісіз тау-кен механикасы: зерттеу тақырыбы // Көмір. 2005. № 2. Б. 22–24 (орыс тілінде)
7. Гольберт А.Е. Жаңартылған тау-кен механикасы: зерттеу саласын анықтау // Қазақстан тау-кен журналы. 2011. № 2. Б. 44–47 (орыс тілінде)
8. Пат. № 2106562, Ресей Федерациясы, МКІ 6 F16L 1/00. Құбыр желісі / Гольберт А.Е.; өтініш беруші және патент иесі Гольберт А.Е. – № 93036979/06; 20.07.1993 жылы жарияланды; 10.03.1998 жылы жарияланды, № 7 бюллетень (орыс тілінде)
9. Пат. 2027009, Ресей Федерациясы, МКІ 6 E 21D 1/00. Білік үстіндегі көтергіш және тасымалдау құрылғысы / Гольберт А.Е.; өтініш беруші және патент иесі Гольберт А.Е. – № 5058495/03; 11.08.1992 жылы жарияланды; 20.01.1995 жылы жарияланды, № 2 бюллетень (орыс тілінде)
10. Давыдов Л. Жер асты теңізін шығару // Техника – жасстар. 1948. № 10. Б. 19–21 (орыс тілінде)
11. Тау-кен инженерлері-электромеханиктер П.Я. Фролов, В.А. Шатиуков, И.Ф. Ефремов, Ю.М. Велякиннің хаты (Свердловск қ.) // Техника – жасстар. 1949. № 4 (орыс тілінде)
12. Игнатов Н.Н., Гейер В.Г., Чернавкин Н.Н. Донбассты қалпына келтіру кезіндегі миналарды айдау: М.: Углетехиздат, 1950. 194 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. *Stacionarnye ustanovki shakht [Stationary Mine Installations]. V.S. Dulin, G.A. Babak, V.V. Pak [et al.]. Moscow: Nedra, 1977. 438 p. (in Russian)*
2. *Geyer V.G., Timoshenko G.M. Shakhtnye ventilyatornye i vodootlivnyye ustanovki [Mine Fans and Dewatering Installations]. Moscow: Nedra, 1987. 268 p. (in Russian)*
3. *Rukovodstvo po revizii, naladke i ispytaniyu shakhtnykh pod“emnykh ustanovok. Normativnoe proizvodstvenno-prakticheskoe izdanie [Guide to the Inspection, Adjustment, and Testing of Mine Hoisting Installations. Regulatory Industrial-Practical Edition]. V.R. Bezok, V.D. Konoplyanoy, E.M. Kurchenko [et al.]. Donetsk: Donechchina, 2009. 672 p. (in Russian)*
4. *Khadzhikov R.N., Butakov S.A. Gornaya mekhanika: Uchebnik dlya gornykh tekhnikumov [Mining Mechanics: Textbook for Mining Technical Schools]. Moscow: Nedra, 1982. 407 p. (in Russian)*
5. *Kurbatova O.A., Kharin A.Z. Istoriya razvitiya gornoi mekhaniki: ucheb. posobie [History of the Development of Mining Mechanics: Tutorial]. Vladivostok: DVG TU House, 2004. 137 p. (in Russian)*
6. *Golbert A.E. Neizvestnaya gornaya mekhanika: predmet issledovaniy [Unknown Mining Mechanics: Subject of Research], Ugol' [Coal]. 2005. No. 2. 22–24 pp. (in Russian)*
7. *Golbert A.E. Obnovlennaya gornaya mekhanika: opredelenie polya issledovaniy [Updated Mining Mechanics: Defining the Field of Research], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2011. No. 2. 44–47 pp. (in Russian)*
8. *Pat. № 2106562, Rossiiskaya Federatsiya, MKI 6 F16L 1/00. Truboprovod / Gol'bert A.E.; zayavitel' i patentoobladatel' Gol'bert A.E. – № 93036979/06; zayavl. 20.07.1993; opubl. 10.03.1998, Byull. № 7 [Patent No. 2106562, Russian Federation, IPC 6 F16L 1/00. Pipeline / Golbert A.E.; applicant and patentee Golbert A.E. – No. 93036979/06; filed 20.07.1993; published 10.03.1998, Bulletin No.7] (in Russian)*
9. *Pat. 2027009, Rossiiskaya Federatsiya, MKI 6 E 21D 1/00. Nadstvol'noe pod“emno-transportnoe ustroystvo / Gol'bert A.E.; zayavitel' i patentoobladatel' Gol'bert A.E. – № 5058495/03; zayavl. 11.08.1992; opubl. 20.01.1995, Byull. № 2 [Patent 2027009, Russian Federation, IPC 6 E 21D*

- 1/00. Overhead lifting and transport device / Golbert A.E.; applicant and patentee Golbert A.E. – No. 5058495/03; filed 11.08.1992; published 20.01.1995, Bulletin No. 2] (in Russian)
10. Davydov L. *Izgnanie podzemnogo morya [Expulsion of Underground Water]*, *Tekhnika – molodezhi [Technology for young people]*. 1948. No. 10. 19–21 pp. (in Russian)
11. *Pis'mo gornykh inzhenerov-elektromekhanikov P.Ya. Frolova, V.A. Shavshukova, I.F. Efremova, Yu.M. Velyakina (g. Sverdlovsk) [Letter from mining electromechanical engineers P. Ya. Frolov, V. A. Shavshukov, I. F. Efremov, Yu. M. Velyakin (Sverdlovsk)]*, *Tekhnika – molodezhi [Technology for young people]*. 1949. No. 4. (in Russian)
12. *Ignatov N.N., Geyer V.G., Chernavkin N.N. Otkachka shakht pri vosstanovlenii Donbassa [Pumping out mines during the restoration of Donbass]*. Moscow: Ugletekhizdat, 1950. 194 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Гольберт А.Е., горный инженер-электромеханик (г. Менхенгладбах, федеральная земля Северный Рейн – Вестфалия, Германия), golbert.arthur@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-8870-8141>

Авторлар туралы мәліметтер:

Гольберт А.Е., тау-кен инженері-электромеханик (Менхенгладбах к., Солтүстік Рейн-Вестфалия федералды жері, Германия)

Information about the authors:

Golbert A.E., mining engineer-electromechanic (Monchengladbach, North Rhine-Westphalia, Germany)



Machine
Building
and Metal Working

XVII

МЕЖДУНАРОДНАЯ
ПРОМЫШЛЕННАЯ
ВЫСТАВКА

2026

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛООБРАБОТКА

Организатор:

МВК «Атакент-Экспо»
Республика Казахстан, 050057, г. Алматы,
ул. Тимирязева, 42
Тел.: +7 (727) 275 09 11, Моб.: +7 701 477 84 18
E-mail: venera@atakentexpo.kz
www.machinery-expo.kz

Официальная поддержка:

Министерство индустрии и
инфраструктурного
развития Республики Казахстан

machinery-expo.kz

Казахстан, Алматы
ВЦ «Атакент»

12 - 14 МАЯ

Код МРНТИ 52.45.17

T. Kumykova, G. Nurshaiykova, *A. Akylbaeva, T. Malgazhdarov
D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

PRINCIPLES OF QUALITY UNIFORMITY STABILIZATION OF MULTI-GRADE ORES IN THEIR OPEN-PIT MINING

Abstract. An analysis of industrial development experience in deposits with complex mineral compositions indicates that improving the efficiency of raw material resource utilization requires the advancement of mining technologies for complex-structure ores. This paper presents the results of experimental research on the quality averaging of ore types and grades during the open-pit mining of complex polymetallic deposits. The authors propose a comprehensive efficiency criterion based on the Hancock and Gaudin-Kelsall approaches, which accounts for the separation process during ore beneficiation. The application of this criterion enables the management of quality homogeneity for multi-grade ores when extracted separately or as a blend. Furthermore, dependencies have been established for metal recovery into concentrates during the flotation of refractory and mixed lead-zinc ore blends.

Key words: multi-grade ores, complex-structured polymetallic deposits, controlled selective mining, quality averaging, mixed lead-zinc ores.

Ашық тәсілмен өндіру кезінде көпсортты кендердің сапалық біртектілігін тұрақтандыру қағидаттары

Аннотация. Минералдық құрамы күрделі кен орындарын өнеркәсіптік игеру тәжірибесін талдау шикізат қорларын пайдалану тиімділігін арттыру үшін құрылымы күрделі кендерді өндіру технологиясын жетілдіру қажеттігін көрсетеді. Құрылымы күрделі полиметалл кен орындарын ашық әдіспен игеру кезінде кен түрлері мен сорттарының сапасын орташалаандыру бойынша жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Авторлар кенді байыту кезіндегі бөлу процесін ескеретін, Ханкок пен Годен-Келлсалл тәсілдеріне негізделген кешенді тиімділік критерийін ұсынды. Бұл критерийді пайдалану көп сортты кендерді жекелей немесе араластырып өндіру кезінде олардың сапалық біртектілігін басқаруға мүмкіндік береді. Байытылуы қиын және аралас қорсын-мырыш кендерінің шикізасын флотациялық байыту кезінде металдардың концентраттарға шығу тәуелділіктері анықталды.

Түйінді сөздер: көп сұрыпты кендер, күрделі құрылымды полиметалл кен орындары, басқарылатын селективті өндіру, сапаны орташалау, аралас қорға-сын-мырыш кендері.

Принципы стабилизации качественной однородности многосортных руд при их открытой добыче

Аннотация. Анализ опыта промышленного освоения месторождений сложного минерального состава свидетельствует, что для повышения эффективности использования запасов сырья требуется совершенствование технологии разработки сложноструктурных руд. Приведены результаты экспериментальных исследований усреднения качества типов и сортов руд при открытой разработке сложноструктурных полиметаллических месторождений. Авторами предложен комплексный критерий эффективности на базе подходов Ханкока и Годена-Келлсалла, учитывающий разделительный процесс при обогащении руд. Использование данного критерия позволяет управлять качественной однородностью многосортных руд при их добыче раздельно или в смеси. Установлены зависимости извлечения металлов в концентраты при флотационном обогащении шихты труднообогатимых и смешанных свинцово-цинковых руд.

Ключевые слова: многосортные руды, сложноструктурные полиметаллические месторождения, управляемая селективная добыча, усреднение качества, смешанные свинцово-цинковые руды.

Introduction

The primary requirements for the quality of ore feed supplied to beneficiation include uniformity in component content, particle size, moisture, etc., i.e., a set of properties. One of the key tasks of an open-pit mine is to ensure quality formation and parameter stabilization over accounting periods – shifts, days, and weeks. Rapid fluctuations and inconsistencies in quality characteristics hinder adaptation, underscoring the importance of maintaining a stable ore flow quality [1, 2, 3].

Ore quality encompasses a set of natural and technological properties determining enrichability and economic value. Various methodological approaches are applied to stabilize ore mass quality, including [4, 5, 6, 7]:

- *Controlled selective mining through a combination of technical solutions and organizational measures.*
- *Quality averaging of different ore grades through specialized measures ensuring uniform composition based on technologically significant parameters, such as chemical and mineralogical composition, grain size distribution, and the presence of valuable or harmful impurities. To establish an effective averaging scheme, optimal batch ratios in the charge, transport flow optimization, and ore mass stacking sequence must be investigated through experimental studies on intra-grade and inter-grade quality averaging.*

The outlined tasks were addressed using representative technological samples of Zhaimre ores, employing methodologies and practical recommendations from experts in the field [8]. The ores, both separately and in mixtures, were enriched using flotation schemes with and without desliming in the flotation laboratory of VNIItsvetmet.

Materials and methods

Experimental research methods were employed to substantiate the stabilizing quality indicator for ores from complex Atasuy-type polymetallic deposits. The Gaudin-Kelsall (τ_k) criterion is a measure for evaluating quality in separation processes based on the yield of beneficiation products [9]. The Hancock (E) criterion allows for a quantitative assessment of ore mass quality based on three parameters simultaneously: the metal content in the feed ore (α), the concentrate yield (γ), and the content of the useful component (β) [10]. The choice of a comprehensive efficiency criterion – defined as the product of the Hancock index and the Gaudin-Kelsall criterion – is justified by its ability to simultaneously account for both the qualitative recovery of the useful component and the mass yield of the concentrate. This multiplicative approach provides a more rigorous mathematical sensitivity to fluctuations in the slime fraction, which is critical for the complex polymetallic ores of the Zhaimre type.

$\gamma/\alpha = \varepsilon$, metal recovery is considered.

The product of the Hancock and Gaudin-Kelsall criteria:

$$E \cdot \tau_k = \varepsilon \cdot \beta \cdot \frac{(\beta - \alpha)}{(1 - \alpha)}. \quad (1)$$

Thus, represents an unambiguous quantitative assessment of the flotation activity of the valuable component.

The symbol ξ can replace $E \cdot \tau_k$, simplifying the notation. This is a quality criterion, which we have named the comprehensive indicator of ore mass beneficiation potential during the extraction of multi-grade ores.

The maximum possible values of the Hancock and Godden-Kelsall criteria are ensured at stoichiometric metal contents in the ore:

$$\begin{aligned} \text{For lead: } E &= 1.55 \cdot \frac{0.866 - \alpha}{1 - \alpha} \\ \tau_k &= 6.463 \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha}. \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{For zinc: } E &= 1.49 \cdot \frac{0.671 - \alpha}{1 - \alpha} \\ \tau_k &= 2.039 \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha}. \end{aligned} \quad (3)$$

Taking the $\beta = \text{const}$, we can find the maximum possible recovery, in this case:

$$\text{For lead: } \xi_{pb} \rightarrow \max \left\{ 7.463 \cdot \frac{0.866 - \alpha \beta}{\alpha_{pb}} \right\}. \quad (4)$$

$$\text{For zinc: } \xi_{zn} \rightarrow \max \left\{ 3.038 \cdot \frac{0.671 - \alpha_{zn}}{\alpha_{zn}} \right\}. \quad (5)$$

The comprehensive quality indicator ξ enables controlled ore extraction, as it allows for the evaluation of technological parameters of ores with various compositions. According to this criterion, the quality of a technological ore grade is expressed as relative fractions of the maximum possible theoretical values. Calculations are performed for each metal using the formula:

$$E' \cdot \tau_k^1 = E^1 \cdot \frac{\tau_k^1}{E^2} \cdot \tau_k^2, \quad (6)$$

where $E' \cdot \tau_k^1$ represents the criterion values for the actual metal content in the technological ore grade α , the expected recovery ε , and the concentrate quality β ; moreover,

$$E_1 \cdot \tau_k^1 = \varepsilon \cdot \beta \cdot \frac{\beta - \alpha}{1 - \alpha}, \quad (7)$$

where $E_2 \cdot \tau_k^2$ is the maximum criterion value, determined from expression (7) at the metal content, assuming 100% recovery and an ideal concentrate quality corresponding to the theoretical metal content in the extracted mineral: for galena $\alpha_{pb} = 86.6\%$; for sphalerite $\alpha_{zn} = 67.1\%$.

In practice, for averaging quality based on the mean values calculated by formula (6), the planned (weighted average) value is determined for the entire set of grades involved in the mining and processing process according to the development direction of mining operations. Then, based on the maximum possible values of quality fluctuation within the interval found by the formula:

$$I = \{ + \alpha \cdot \Delta E' \cdot \tau_k'; - \alpha \cdot \Delta E' \cdot \tau_k' \}, \quad (8)$$

the optimal blending ratios of ore grades are calculated. Moreover, the value of the degree of averaging for the concentrate τ_k^3 in the averaged volume, found by the formula, is determined.

$$\tau_k^3 = \gamma \cdot \beta \cdot \frac{\beta - \alpha}{1 - \alpha}, \quad (9)$$

should be greater than the minimum value of the degree of separation τ_k^{mi} calculated at the minimum allowable metal content in the concentrate according to the applicable State Standard standards for concentrates. The analytical expression of this limitation is as follows:

$$\tau_k^3 \geq \tau_k^{min}. \quad (10)$$

When calculating the blending ratios using the variation rang

$$I = \{ + \alpha \cdot \Delta E' \cdot \tau_k'; - \alpha \cdot \Delta E' \cdot \tau_k' \},$$

the maximum possible deviation in the quality of the mixture for one metal is taken into account, since, in general, the averaging indicator values (6) for the extracted metals differ. A simplified method for calculating the blending ratios Q_2/Q_1 of the averaged ore grades is to find the values of the ore grade fractions:

$$Q_2/Q_1 = \frac{\alpha_1(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\alpha^2} \cdot (\varepsilon_3 - \varepsilon_2), \quad (11)$$

where Q_2/Q_1 is the fractional ratio of the worst and best quality ore grades to be blended – expressed as a percentage or fraction of a unit, with corresponding metal contents $\alpha\alpha_1$ and $\alpha\alpha_2$ and extractions $\varepsilon\varepsilon_1$ и $\varepsilon\varepsilon_2$; $\varepsilon\varepsilon_3$ is the planned extraction, expressed as a percentage.

If the ratio of volumes of averaged ore grades in blocks is established, the calculations should be conducted taking into account the reliability of geological reserves $Q_2 \cdot P(m_x^1)/Q_1 \cdot P(m_x^2)$ in accordance with the detail and stage of the site exploration.

Experimental studies of grade averaging based on calculation formulas (6), (9), and (11) were conducted on small-scale technological samples, represented by rich lead-zinc crystalline-granular ores from quarry No. 2, +297 m level, of the Western Zhayrem deposit, blended with fractions of galena and sphalerite – sample No. 3; difficult-to-beneficiate ores with a lead extraction of 50.9% into the commercial product with a metal content of 13.74% – sample No. 2; and «conditionally balanced» lead-zinc ores with a conditional zinc content below the minimum industrial standard but higher than the cutoff content.

To establish the limits of possible metal extraction reduction during the operational management of mining operations, we investigated the impact of dilution on the quality of lead-zinc ores. The ore was diluted sequentially in steps of 10% from a ratio of ore to waste rock of 9:1 to 1:9.

Results and discussion

Experimental results demonstrated that all Zhayrem ore grades exhibit fine-grained sulfide dissemination, making beneficiation challenging due to incomplete mineral liberation, even with ultra-fine grinding to 98% passing 74 μm . Additionally, increased slime generation negatively impacted concentrate quality. Different natural ore types exhibit varying beneficiation characteristics. Hydrothermal-sedimentary ores, characterized by unevenly layered textures, abundant globular sulfide formations, and an overall aleuropelitic structure,

contain fine-grained pyrite, galena, and sphalerite, resulting in poor beneficiation performance (Figure 1).

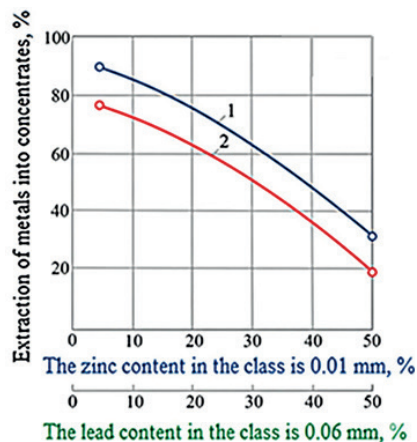


Figure 1. Dependence of lead and zinc extraction into concentrates on the content of fine-grained sulfide: 1 – extraction of lead, $n = 96$; 2 – extraction of zinc, $n = 75$.

Сурет 1. Қорғасын мен мырыштың концентраттарға алынуының жұқа түйіршікті сульфидтердің құрамына тәуелділігі: 1 – қорғасын алу, $N = 96$; 2 – мырыш алу, $n = 75$.

Рис. 1. Зависимость извлечения свинца и цинка в концентраты от содержания тонкозернистых сульфидов: 1 – извлечение свинца, $n = 96$; 2 – извлечение цинка, $n = 75$.

The primary conclusion derived from analyzing the amplitude of quality fluctuations in Zhairam lead-zinc ores and their material composition characteristics is that none of the listed composition parameters can be considered the main criterion for averaging. The combined influence of these parameters necessitates grade-based averaging by mixing higher-quality ores with lower-quality ones.

An analysis of the beneficiation potential based on the dispersion analysis of Zhairam ore beneficiation products has shown that the majority of metal losses occur in the fine-grained fraction ($-20 \mu\text{m}$) (Figure 2).

The distribution curves of lead and zinc in flotation tailings exhibit distinct peaks at the $-10 \mu\text{m}$ or $-20 \mu\text{m}$ size fractions, depending on similar peaks in the metal distribution within the flotation feed, except for a peak at the $+74 \mu\text{m}$ fraction, from which lead and zinc are recovered at approximately 96%.

Diagrams (Figure 3) confirm a significant difference in metal recovery between the «sandy» ($+20 \mu\text{m}$) and slime ($-20 \mu\text{m}$) fractions. This explains the instability of beneficiation performance, decreased selectivity, lower concentrate quality, and increased metal losses in different concentrates as the proportion of metals in the slime fraction increases.

The resulting experimental data (Figure 4) prove the reduction in lead and zinc extraction following a linear law, which allows the following conclusion: when calculating the blending ratios of averaged ore grades, a correction factor for the degree of dilution should be introduced for each separately mined grade to stabilize quality.

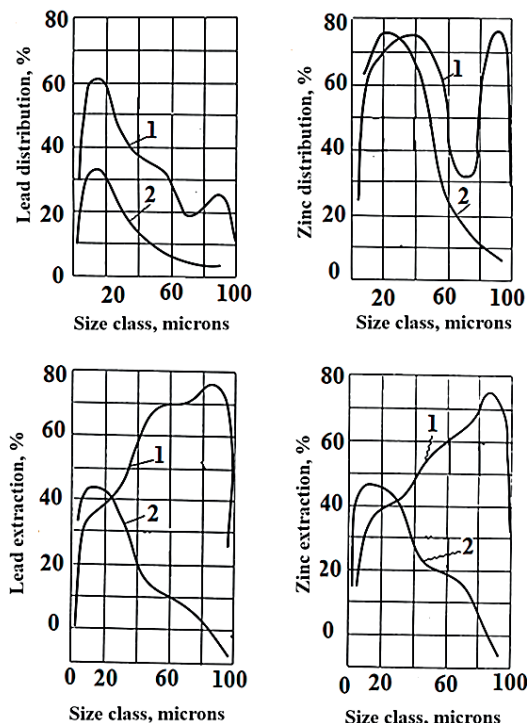


Figure 2. Curves of the dispersed analysis of the products of enrichment of lead-zinc ores: 1 – mixed lead-zinc ores; 2 – tailings.

Сурет 2. Қорғасын-мырыш кендерін байыту өнімдерінің дисперстік талдау қисықтары: 1 – аралас қорғасын-мырыш кендері; 2 – қалдықтар.

Рис. 2. Кривые дисперсного анализа продуктов обогащения свинцово-цинковых руд: 1 – смешанные свинцово-цинковые руды; 2 – хвосты.

Thus, the primary stabilizing indicator of ore quality for stratiform polymetallic deposits of the Zhairam type is the metal content in the slimes fraction, which determines the overall metal recovery. This leads to a crucial conclusion regarding the efficiency of mining complex polymetallic deposits. To ensure the quality homogeneity of the ore flow in terms of metal content when mining multi-grade ores under quality management protocols, it is necessary to standardize the metal content in the slimes fractions of the extracted ore grades. This objective can be achieved through various methods. However, the most effective approach is the proposed method based on a comprehensive beneficiation efficiency criterion. We have designated it as such because this indicator is a product of the Hancock efficiency index, well-known in the theory of separation processes, and the degree of separation by concentrate, also known as the Goden-Kelsall criterion.

The application of the Hancock criterion has provided mathematical confirmation that quantitative separation efficiency is directly dependent on the particle size distribution. High efficiency is achieved in the «sand» fraction ($+20 \mu\text{m}$), whereas the «slime» portion significantly reduces the overall value of the criterion.

It has been experimentally established that a dilution increment of 10% significantly affects selectivity. When the ore-to-waste ratio falls below 7:3, the beneficiation indicators

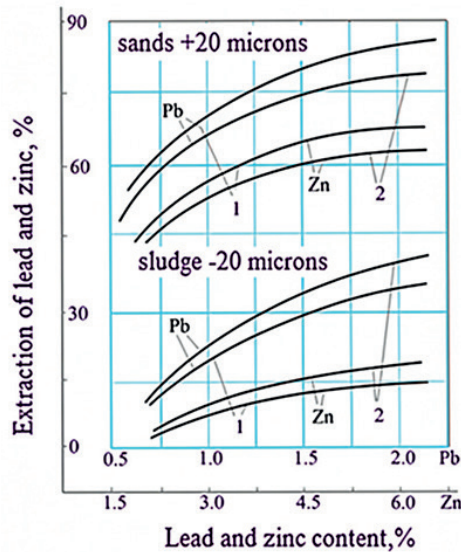


Figure 3. Dependence of the extraction of metals into concentrates on their content in the sand and slurry fractions of ore grinding: 1 – sulfide lead-zinc ores; 2 – mixed lead-zinc ores.

Сурет 3. Металдардың концентраттарға шығару дәрежесінің олардың кенді ұнтақтау кезіндегі құмды және шламды фракциялардағы мөлшеріне тәуелділігі: 1 – сульфидті қорғасын-мырыш кендері; 2 – аралас қорғасын-мырыш кендері.

Рис. 3. Зависимость извлечения металлов в концентраты от их содержания в песковой и шламовой фракциях помола руды: 1 – сульфидные свинцово-цинковые руды; 2 – смешанные свинцово-цинковые руды.

become unstable. To stabilize concentrate quality, operational management of the blending process (based on formulas 6, 9, and 11) is required to ensure minimum slime formation during the averaging process.

Conclusions

Summarizing the theoretical aspects of the issue and the results of experimental studies conducted on small-scale technological samples of lead-zinc ores from the Zhairam group of polymetallic deposits, the following conclusions can be drawn.

The primary stabilizing indicator of ore quality for Atasu-type stratiform deposits is the metal content in the slime fraction of mineral grains smaller than 20 μm .

The quality of the blend of averaged ore grades directly depends on the quality of the source components and follows a linear relationship. Furthermore, blending low-grade ores with high-grade ones predictably deteriorates the overall technological performance.

REFERENCES

1. Multi-objective optimization of ore blending in polymetallic open-pit mines based on an improved real-coded element elongation model and NSGA-II / Xiang J. [et al.] // *Mathematics*. 2025. V. 13. No. 11. 1843 p. (in English)
2. Lamghari A., Dimitrakopoulos R., Ferland J.A. A variable neighbourhood descent algorithm for the open-pit mine production scheduling problem with metal uncertainty // *Journal of the Operational Research Society*. 2014. V. 65. 1305–1314 pp. (in English)

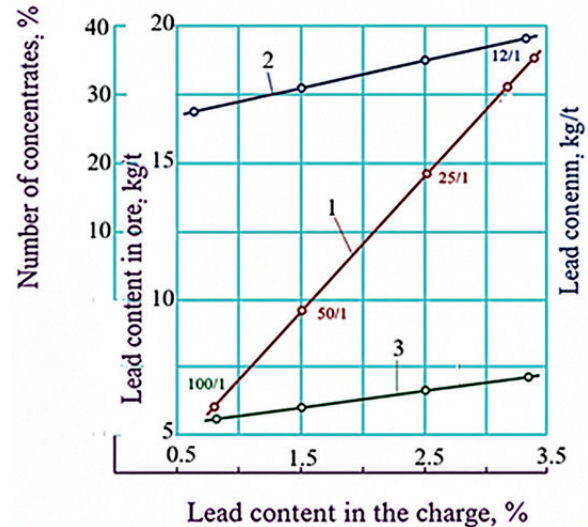


Figure 4. Dependence of lead extraction into concentrates and the quality of lead concentrates on the charge ratios of hard- and easy-to-enrich grades of lead-zinc ores in the charge: 1 – extraction; 2 – concentrate quality; 3 – losses in the tailings of enrichment (in the numerator the volumes of hard-to-enrich, in the denominator – easily-enriched ores).

Сурет 4. Қорғасынның концентраттарға шығарылуы мен қорғасын концентраттарының сапасының шихта құрамындағы байытуға қиын және жеңіл байытылатын қорғасын-мырыш кендерінің үлес қатынасына тәуелділігі: 1 – шығарылу; 2 – концентрат сапасы; 3 – байыту қалдықтарындағы жоғалтулар (алымында – байытуға қиын кендердің көлемі, бөлімінде – жеңіл байытылатын кендердің көлемі).

Рис. 4. Зависимость извлечения свинца в концентраты и качества свинцовых концентратов от шихтовочных соотношений трудно- и легкообогащаемых сортов свинцово-цинковых руд в шихте: 1 – извлечение; 2 – качество концентрата; 3 – потери в хвостах обогащения (в числителе объемы труднообогащаемых, в знаменателе – легкообогащаемых руд).

The proposed evaluation method, based on a comprehensive criterion (the product of the Hancock and Gaudin-Kelsall criteria), provides the most accurate prediction of beneficiation efficiency in conditions of complex deposit structures.

Acknowledgments

The article was carried out within the framework of program-targeted funding (MSHE RK) under the project BR24992854 «Development and implementation of competitive science-based technologies to ensure sustainable development of the mining and metallurgical industry of the East Kazakhstan region».

3. Chen W., Zhang D. Optimization of Ore Blending Strategy for an Open-Pit Mine Using Metaheuristic Algorithms // *Minerals*. 2021. V. 11. No. 9. 945 p. (in English)
4. Kumykov V.Kh., Kumykova T.M. Upravlenie kachestvom pri dobyche mnogosortnykh rud otkryтым способом [Quality management in open-pit mining of multi-grade ores], *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]*, 2012. 54–56 pp. (in Russian)
5. Galiev D.A., Farakhov K.A. Provedenie ispytaniy sposoba blochno-orientirovannogo usredneniya v laboratornykh i promyshlennykh usloviyakh [Testing of the block-oriented ore blending method under laboratory and industrial conditions], *Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie gornogo proizvodstva [Scientific and Technical Support of Mining Production]*. 2014. V. 86. 267–271 pp. (in Russian)
6. Li X., Liu Q. Improved Ore Blending Model Considering Metal Grade Uncertainty in Open Pit Mining // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. V. 29. No. 4. 567–576 pp. (in English)
7. Kumykov V.K., Kumykova T.M. Technology of extraction and stockpiling of fire-hazardous ores // *Journal of Mining Science*. 2013. V. 49. No. 4. 99–107 pp. (in English)
8. Kumykov V.Kh., Ipalakov T.T., Kumykova T.M. Printsipy optimizatsii napravleniya razvitiya gornykh работ v kar'ere [Principles of optimization of the direction of mining operations in the open pit]. *Ust-Kamenogorsk: VKGTU*, 2015. 122 p. (in Russian)
9. Abramov A.A. Tekhnologiya obogashcheniya rud tsvetnykh metallov [Technology of Non-Ferrous Metal Ore Beneficiation]. Moscow: Nedra, 1983. 359 p. (in Russian)
10. Michael G. Nelson Hancock's Efficiency: A New Perspective. *Mineral & Metallurgical Processing*. 2004. V. 21. No. 4. 204–208 pp. (in English)

ПАЙДАЛАНЫҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Полиметаллды ашық карьерлер үшін көпмақсатты пайдалы қазбаларды араластыруды оңтайландыру / Xiang J. [и др.] // *Mathematics*. 2025. Т. 13. № 11. Б. 1843 (ағылшын тілінде)
2. Lamghari A., Dimitrakopoulos R., Ferland J.A. Металл мөлшерінің белгісіздігі жағдайында ашық кен орындарындағы өндіруді жоспарлау есептерін шешуге арналған айнымалы көршілестікке негізделген төмендету алгоритмі // *Journal of the Operational Research Society*. 2014. Т. 65. № 8. Б. 1305–1314 (ағылшын тілінде)
3. Chen W., Zhang D. Метаэвристикалық алгоритмдер негізінде ашық кеніштерде кеннің біркелкі стратегиясын оңтайландыру // *Minerals*. 2021. Т. 11. № 9. Б. 945 (ағылшын тілінде)
4. Кумыков В.Х., Кумыкова Т.М. Ашық тәсілмен көпсортты кен өндіру кезінде сапаны басқару // Перспективалар атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары, 2012. Б. 54–56 (орыс тілінде)
5. Галиев Д.А., Фарахов К.А. Блокқа бағытталған орташа алу әдісін зертханалық және өндірістік жағдайда сынау // Тау-кен өндірісін ғылыми-техникалық қамтамасыз ету. 2014. Т. 86. Б. 267–271 (орыс тілінде)
6. Li X., Liu Q. Металл мөлшерінің белгісіздігін ескере отырып, ашық кен жұмыстарында кенді біркелкі жасаудың жетілдірілген моделі // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Т. 29. № 4. Б. 567–576 (ағылшын тілінде)
7. Кумыков В. Х., Кумыкова Т. М. Өрт қауіпті кендерді өндіру және қоймалау технологиясы // *Journal of Mining Science*. 2013. Т. 49. № 4. Б. 99–107 (ағылшын тілінде)
8. Кумыков В.Х., Ипалаков Т.Т., Кумыкова Т.М. Карьердегі тау-кен жұмыстарының даму бағытын оңтайландыру қағидаттары: Өскемен: ШҚМТУ, 2015. 122 б. (орыс тілінде)
9. Абрамов А.А. Түсті металл кендерін байыту технологиясы: М.: Недра, 1983. 359 б. (орыс тілінде)
10. Michael G. Nelson Хэнкок тиімділігі: жаңа көзқарас // *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2004. Т. 21. № 4. Б. 204–208 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Многокритериальная оптимизация усреднения руд на полиметаллических карьерах на основе усовершенствованной модели удлинения вещественного элемента и НСГА-II / Xiang J. [и др.] // *Mathematics*. 2025. Т. 13. № 11. С. 1843 (на английском языке)
2. Lamghari A., Dimitrakopoulos R., Ferland J.A. Алгоритм спуска с переменным окружением для оптимизации производственного планирования на открытых горных работах в условиях неопределенности содержания металла // *Journal of the Operational Research Society*. 2014. Т. 65. С. 1305–1314 (на английском языке)
3. Chen W., Zhang D. Оптимизация стратегии усреднения (смешивания) руды для открытого карьера с использованием метаэвристических алгоритмов // *Minerals*. 2021. Т. 11. № 9. С. 945 (на английском языке)
4. Кумыков В.Х., Кумыкова Т.М. Управление качеством при добыче многосортных руд открытым способом // Материалы Международной научно-практической конференции, 2012. С. 54–56 (на русском языке)

5. Галиев Д.А., Фарахов К.А. Проведение испытаний способа блочноориентированного усреднения в лабораторных и промышленных условиях // *Научно-техническое обеспечение горного производства*. 2014. Т. 86. С. 267–271 (на русском языке)
6. Li X., Liu Q. Усовершенствованная модель усреднения руды с учетом неопределенности содержания металла при разработке месторождений открытым способом // *Международный журнал по горным наукам и технологиям*. 2019. Т. 29. № 4. С. 567–576 (на английском языке)
7. Кумыков В. Х., Кумыкова Т. М. Технология добычи и складирования пожароопасных руд // *Journal of Mining Science*. 2013. Т. 49. № 4. С. 627–634 (на английском языке)
8. Кумыков В.Х., Ипалаков Т.Т., Кумыкова Т.М. Принципы оптимизации направления развития горных работ в карьере: Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2015. 122 с. (на русском языке)
9. Абрамов А.А. Технология обогащения руд цветных металлов: М.: Недра, 1983. 359 с. (на русском языке)
10. Michael G. Nelson Эффективность Хэнкока: новый взгляд // *Mining, Metallurgy & Exploration*. 2004. Т. 21. № 4. С. 204–208 (на английском языке)

Information about the authors:

Kumykova T.M., candidate of technical sciences, Professor of the School of Earth Sciences, NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), ktm6010@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0977-0047>

Nurshaiykova G.T., candidate of technical sciences, Associate Professor at the School Earth Sciences, NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), GNurshaiykova@edu.ektu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9915-8315>

Akylbaeva A.T., Doctor Ph.D, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), aakylbaeva@edu.ektu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6093-8530>

Malgazhdarov T.M., Master, Lecturer at the School of Earth Sciences, NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University» (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan), tmalgazhdarov@edu.ektu.kz; <https://orcid.org/0009-0008-6601-0478>

Авторлар туралы мәліметтер:

Кумыкова Т.М., техника ғылымдарының кандидаты, Жер туралы ғылымдар мектебінің профессоры, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан)

Нуршайыкова Г.Т., техника ғылымдарының кандидаты, Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан)

Акылбаева А.Т., Ph.D, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан)

Малгаждаров Т., магистр, Жер туралы ғылымдар мектебінің оқытушысы «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ (Өскемен қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Кумыкова Т. М., канд. техн. наук, профессор Школы наук о Земле, НАО Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Нуршайыкова Г.Т., канд. техн. наук, ассоциированный профессор Школы наук о Земле, НАО Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Акылбаева А.Т., доктор Ph.D, ст. преподаватель Школы наук о Земле, НАО Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, (г.Усть-Каменогорск, Казахстан)

Малгаждаров Т.М., магистр, преподаватель Школы наук о Земле, НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева» (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Код МРНТИ 52.45.19

*И.Т. Сандыбекова, М.Б. Барменшинова

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

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА РУД БОЗШАКОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЛОТАЦИИ МЕДИ

Аннотация. Исследовано влияние минералогического состава и крупности измельчения руд Бозшакольского месторождения на эффективность флотации меди. Используются ежедневные данные рентгеноструктурного анализа, результаты ситового анализа и оценки раскрытия/ассоциаций *Си*-минералов, а также данные фабрики за 2022–2025 гг. Показано, что рост пирита в питании связан со снижением извлечения меди (Спирмен -0,47), тогда как альбит коррелирует положительно (+0,34). Установлено, что около 22% меди в питании основной флотации представлено плохо высвобожденным халькопиритом, а во фракции +125 мкм сосредоточено 13% всей меди. Моделирование подтверждает падение извлечений *Си* и *Аи* при росте P80; снижение P80 с 130 до 120 мкм может повысить извлечение *Си* на 1,95%. Предложена интеграция минералогии и P80 в управление с размерно-раздельным анализом (+38/-38 мкм).

Ключевые слова: производственная минералогия, рентгеноструктурный анализ, флотация меди, раскрытие халькопирита, влияние пирита, крупность измельчения, хвосты контрольной флотации, месторождение Бозшаколь.

Бозшақол кен орны рудаларының минералогиялық құрамының мысты флотациялау тиімділігіне әсері

Андатпа. Мақалада Бозшақол кен орны кендерінің минералогиялық құрамы мен ұнтақтау ірілігінің (P80) мыс флотациясының тиімділігіне әсері қарастырылды. Зерттеуде өндірістік минералогия деректері (күнделікті сандық рентгеноструктуралық талдау, елеу нәтижелері, *Си*-минералдарының ашылуы мен ассоциацияларын бағалау) және фабриканың 2022–2025 жж. көрсеткіштері пайдаланылды. Пирит мөлшерінің өсуі мыс шығарылымын төмендететіні көрсетілді (Спирмен -0,47), ал альбиттің әсері оң (+0,34). Негізгі флотация корегіндегі мыстың шамамен 22%-ы нашар ашылған халькопирит түрінде болады, +125 мкм фракциясында мыстың 13%-ы шоғырланған. Модельдеу P80 үлкейген сайын *Си* және *Аи* шығарылымдарының төмендейтінін көрсетті; P80-ді 130-дан 120 мкм-ге азайту *Си* шығарылымын 1,95%-ға арттыруы мүмкін. +38/-38 мкм фракциялары бойынша талдау қолдану ұсынылады.

Түйінді сөздер: өндірістік минералогия, сандық рентгеноструктуралық талдау, мыс флотациясы, халькопириттің ашылуы, пириттің әсері, ұнтақтау ірілігі, бақылау флотациясының қалдықтары, Бозшақол кен орны.

Influence of the mineralogical composition of ores from the Bozshakol deposit on the efficiency of copper flotation

Abstract. This paper evaluates how ore mineralogy and grind size (P80) affect copper flotation performance at the Bozshakol concentrator. Daily quantitative XRD trends, size-by-assay results and liberation/association observations are combined with plant daily data (2022–2025). Pyrite in feed shows a negative relationship with *Cu* recovery (Spearman -0.47), while albite correlates positively (+0.34). About 22% of *Cu* in rougher feed occurs as poorly liberated chalcopyrite and 13% of total *Cu* is hosted in the +125 μm fraction. Modeling indicates decreasing *Cu* and *Au* bulk recoveries with increasing P80; reducing P80 from 130 to 120 μm may increase *Cu* bulk recovery by ~1.95%. Integration of mineralogy and P80 into daily process control via PI Vision and size-split QXRD (+38/-38 μm) is proposed.

Key words: operational mineralogy, quantitative X-ray diffraction, copper flotation, chalcopyrite liberation, pyrite, grind size, control flotation tailings, Bozshakol.

Введение

Повышение извлечения меди на обогатительных фабриках медно-порфировых месторождений в значительной степени ограничено минералогическими факторами: формой нахождения меди, степенью раскрытия сульфидов, количеством пирита, содержанием тонких глинисто-слюдистых минералов и их влиянием на реологию пульпы и селективность флотации. Бозшакольское месторождение характеризуется вариабельностью литологических типов и минералогии, что требует перехода от разовых минералогических исследований к производственной минералогии как к ежедневному инструменту управления процессом.

Цель работы – определить ключевые минералогические ограничения флотации меди для руд Бозшакольского месторождения и количественно оценить влияние крупности измельчения (P80) на извлечения *Си*, *Аи* и *Мо* на основе производственных данных, а также сформировать практические рекомендации по интеграции минералогии и P80 в оперативное управление процессом.

Материалы и методы

В работе использованы следующие источники данных и подходы:

1) Отчет по аудиту производственной минералогии с описанием текущих практик отбора и подготовки проб, ежедневного рентгеноструктурного анализа и рекомендаций по интеграции минералогии в PI Vision.

2) Результаты исследования ситового анализа и минералогии по классам крупности (суточные/сменные композиты), включая доли *Си*-минералов (*Си*CN, *Си*AS),

распределение меди по фракциям и оценку раскрытия/ассоциаций халькопирита.

3) Анализ влияния P80 на извлечения *Си* и *Аи* по суточным данным фабрики за 2022 г. – апрель 2025 гг.

4) Результаты лабораторных флотационных тестов (два композита, диапазон P80 120–180 мкм).

Для оценки связи минералогии и показателей процесса использованы непараметрические коэффициенты корреляции (Спирмен). Под термином QXRD понимается количественная рентгеноструктурная дифракция (quantitative X-ray diffraction).

Результаты

По ежедневным данным рентгеноструктурного анализа композитных проб выполнен высокоуровневый анализ связи минералогии питания и показателей процесса. Установлено сильное отрицательное влияние пирита на извлечение меди: коэффициент корреляции Спирмена составляет -0,47. Положительная корреляция выявлена между извлечением меди и содержанием альбита в питании (+0,34). Данные зависимости могут использоваться как индикаторы изменения раскрытия и селективности при изменении минералогии питания.

Для повышения диагностической ценности ежедневной минералогии рекомендовано выполнять размерно-раздельный анализ: разделение каждой композитной пробы на две фракции (+38 и -38 мкм) с последующим QXRD. Такой подход позволяет отделить влияние грубых композитных частиц (недораскрытие) от влияния ультратонких фракций (глины, шламы) и целенаправленно управлять потерями меди.

Таблица 1
Диапазоны переработки МПСИ и извлечения меди (25–75% процентиль) и влияние геологии (эксплуатационные данные за 2023 год)

Кесте 1
МПСИ бойынша оңдеу және мысты алу көрсеткіштерінің диапазондары (25–75% пайыздық үлес) және геологияның әсері (2023 жылғы пайдалану деректері)

Table 1
Ranges of MPSI throughput and copper recovery (25th–75th percentile) and the impact of geology (operational data for 2023)

Линия (фабрика)	Переработка МПСИ, т/ч (25–75%)	Извлечение <i>Cu</i> , % (25–75%)	Влияние геологии (переработка)	Влияние геологии (извлечение)
Сульфидная	3164–3540	82,0–84,4	Высокие серицит и калийные – ниже переработка; высокие хлориты – выше переработка	Высокая доля брекчии – ниже извлечение; высокая доля андезита – выше извлечение

Минералогические ограничения флотации меди

Результаты ситового анализа и минералогии по классам крупности показали, что значимая доля меди теряется в грубых классах. Во фракции +125 мкм сосредоточено 13% всей меди в виде слабо высвобожденного халькопирита. Суммарно около 22% меди в питании основной флотации находится в виде плохо высвобожденного халькопирита, который не подходит для эффективной флотации.

Минералогические наблюдения указывают на характерные ассоциации: халькопирит в композитных частицах преимущественно связан с агрегатами «слюда + глина», а вторичные сульфиды меди часто ассоциированы с халькопиритом и «слюда + глина». В хвостах контрольной флотации закрытый, невысвобожденный халькопирит встречается главным образом совместно со «слюда + глина» и пиритом. Это подтверждает двойную природу потерь:

1. Недораскрытие в грубых классах;

2. Ухудшение флотиремости и селективности при высоких долях тонких глинисто-слюдистых минералов.

По данным коллективной минералогии питания основной флотации порядка 50% массы питания составляют минералы группы «слюда + глина»; наибольшее их количество приходится на тонкие классы (в том числе < -11 мкм). Дополнительно в период исследования доля минералов *CuCN* и *CuAS* оценивалась на уровне 14–36% от общего количества меди в питании; при этом *CuCN* извлекался лучше, чем *CuAS*, а в более крупных классах (+125 мкм) извлечение ухудшалось.

Хвосты контрольной флотации формируют порядка 87,5% всех хвостов фабрики, что делает данный поток приоритетным для снижения потерь. По результатам минералогии хвостов контрольной флотации до 28% общего количества меди может теряться с данным продуктом, а 7–13% общей меди теряется в хвосты контрольной флотации в фракции +125 мкм. Отмечено, что до 20% меди, потенциально поддающейся флотации, теряется преимущественно за счет закрытого, невысвобожденного халькопирита.

Влияние крупности измельчения (P80) на извлечения

Анализ суточных производственных данных (2022 г. – апрель 2025 г.) показал выраженную обратную зависимость извлечений *Cu* и *Au* от P80. Для молибдена

по производственным суточным данным устойчивой корреляции с P80 не выявлено, что согласуется с вариабельностью минералогии *Mo* и чувствительностью к режиму перемешивания и депрессии. Результаты моделирования извлечений *Cu* и *Au* в диапазоне P80 120–180 мкм представлены в таблице 2.

Таблица 2

*Модель извлечений *Cu* и *Au* в зависимости от P80 (суточные данные фабрики 2022–2025 гг.)*

Кесте 2

*P80 мәніне байланысты *Cu* және *Au* алу модельдері (фабриканың тәуліктік деректері, 2022–2025 жж.)*

Table 2

*Model of *Cu* and *Au* recoveries as a function of P80 (daily plant data, 2022–2025)*

P80, мкм	Извлечение <i>Cu</i> , %	Извлечение <i>Au</i> , %
120	85,64	55,41
130	83,69	53,72
140	81,74	52,02
150	79,80	50,33
160	77,85	48,63
170	75,90	46,94
180	73,95	45,24

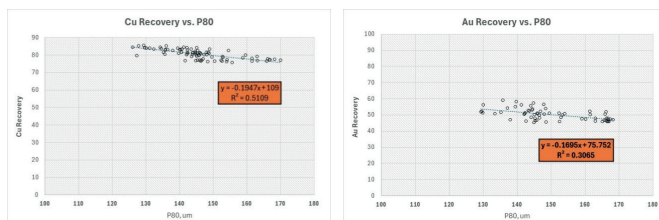


Рис. 1. Зависимость извлечений *Cu* и *Au* от P80 (модель по суточным данным 2022–2025 гг.).

Сурет 1. P80 мәніне байланысты *Cu* және *Au* алу көрсеткіштерінің тәуелділігі (2022–2025 жж. тәуліктік деректер бойынша модель).

Figure 1. Dependence of *Cu* and *Au* recoveries on P80 (model based on daily data, 2022–2025).

Лабораторные флотационные тесты (апрель 2025 г.) на двух композитах подтвердили общий тренд: снижение P80 приводит к росту извлечений **Cu**, **Au** и **Mo**, а увеличение P80 – к снижению. Для композита 2 более низкие извлечения **Cu** объясняются повышенной долей вторичной медной руды.

Результаты флотационных испытаний для композита 1 приведены в таблице 4.

Результаты флотационных испытаний для композита 2 приведены в таблице 5.

Более низкие извлечения **Cu** объясняются высокой долей вторичных медных минералов.

Изменение извлечений относительно базовой крупности P80 = 130 мкм приведено в таблице 6.

Таблица 3

Композиты руды, использованные для флотационных испытаний

Кесте 3

Флотациялық сынақтар үшін пайдаланылған руда композиттері

Table 3

Ore composites used for flotation tests

Композит	Cu, %	Au, g/t	Mo, %	Al2O3	SiO2	S/Cu	Fe/Cu	% Первичные сульфиды	% Вторичные сульфиды
№ 1	0.3	0.25	0.0125	13.81	42.61	8.68	25.68	86.92	7.58
№ 2	0.4	0.19	0.0125	14.87	49.92	9.85	19.70	46.87	26.76

Таблица 4

Флотационные испытания: извлечения Cu, Au и Mo в цикле основной – контрольной и в коллективной флотации при различных значениях P80

Кесте 4

Флотациялық сынақтар: әртүрлі P80 мәндерінде негізгі – бақылау циклі және ұжымдық флотация кезінде Cu, Au және Mo алу көрсеткіштері

Table 4

Flotation tests: Cu, Au and Mo recoveries in the rougher – scavenger circuit and in bulk flotation at various P80 values

P80	Извлечение основной-контрольной флотации			Извлечение коллективной флотации		
	Cu	Au	Mo	Cu	Au	Mo
120	85.85	65.40	66.01	84.13	56.90	57.43
130	84.86	63.33	64.29	83.16	55.09	55.93
140	83.57	61.64	62.02	81.90	53.63	53.96
150	82.53	59.02	61.09	80.88	51.34	53.15
160	82.17	56.16	60.45	80.53	48.86	52.59
170	80.20	54.70	57.90	78.60	47.59	50.37
180	78.55	52.85	55.88	76.98	45.98	48.62

Таблица 5

Флотационные испытания: извлечения Cu, Au и Mo в цикле основной – контрольной и в коллективной флотации при различных значениях P80

Кесте 5

Флотациялық сынақтар: әртүрлі P80 мәндерінде негізгі – бақылау циклі және ұжымдық флотация кезінде Cu, Au және Mo алу көрсеткіштері

Table 5

Flotation tests: Cu, Au and Mo recoveries in the rougher – scavenger circuit and in bulk flotation at various P80 values

P80	Извлечение основной-контрольной флотации			Извлечение коллективной флотации		
	Cu	Au	Mo	Cu	Au	Mo
120	71.10	76.41	74.43	70.04	64.95	63.27
130	70.31	75.25	73.33	69.25	63.96	62.33
140	69.52	74.09	72.23	68.47	62.97	61.40
150	68.72	72.92	71.13	67.69	61.99	60.46
160	67.93	71.76	70.03	66.91	61.00	59.53
170	67.13	70.60	68.93	66.13	60.01	58.59
180	66.34	69.44	67.83	65.34	59.02	57.66

Таблица 6

Изменение извлечений относительно P80 = 130 мкм (лабораторные флотационные тесты, два композита)

Кесте 6

P80 = 130 мкм мәніне қатысты алу көрсеткіштерінің өзгеруі (зертханалық флотациялық сынақтар, екі композит)

Table 6

Change in recoveries relative to P80 = 130 μm (laboratory flotation tests, two composites)

P80, мкм	ΔCu, комп.2	ΔAu, комп.2	ΔMo, комп.2	ΔCu, комп.1	ΔAu, комп.1	ΔMo, комп.1
120	0,78	0,99	0,93	0,97	1,80	1,50
130	—	—	—	—	—	—
140	-0,78	-0,99	-0,94	-1,26	-1,47	-1,98
150	-1,56	-1,98	-1,87	-2,28	-3,75	-2,78
160	-2,35	-2,97	-2,80	-2,63	-6,23	-3,34
170	-3,13	-3,95	-3,74	-4,56	-7,50	-5,56
180	-3,91	-4,94	-4,68	-6,18	-9,11	-7,31

Обсуждение результатов

Полученные результаты подтверждают, что минералогический фактор для Бозшаколя проявляется через два ключевых механизма:

- недостаточное раскрытие сульфидов меди в грубых классах, прежде всего +125 мкм, где сосредоточена заметная доля меди;

- влияние тонких глинисто-слюдистых минералов и пирита на селективность флотации и разбавление концентрата. Отрицательная связь пирита с извлечением меди (-0,47) может отражать сопутствующий унос пирита в концентрат и/или ухудшение селективности при изменении электрохимических условий, тогда как поло-

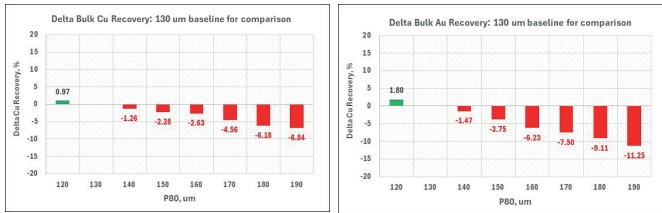


Рис. 2. Изменение извлечения Cu при изменении P80 относительно 130 мкм (лабораторные тесты – композит 1).

Сурет 2. P80 мәні 130 мкм-ге қатысты өзгерген кезде Cu алу көрсеткішінің өзгеруі (зертханалық сынақтар, 1-композит).

Figure 2. Change in Cu recovery as P80 varies relative to 130 µm (laboratory tests, Composite 1).

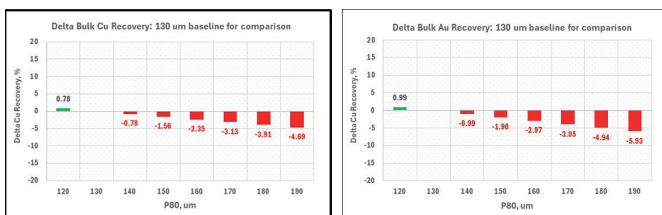


Рис. 3. Изменение извлечения Cu при изменении P80 относительно 130 мкм (лабораторные тесты – композит 2).

Сурет 3. P80 мәні 130 мкм-ге қатысты өзгерген кезде Cu алу көрсеткішінің өзгеруі (зертханалық сынақтар, 2-композит).

Figure 3. Change in Cu recovery as P80 varies relative to 130 µm (laboratory tests, Composite 2).

жесткая связь с альбитом (+0,34) вероятно связана с улучшением разрушения и раскрытия **Си**-минералов в присутствии более хрупких полевошпатов.

Практический вывод из зависимости «извлечение – P80» заключается в том, что управление крупностью должно выполняться не по фиксированной уставке, а с учетом минералогии питания. При росте доли композитных частиц халькопирита в грубых классах целесообразно целевое уменьшение P80, в первую очередь за счет стабилизации классификации и циркуляционной нагрузки в контуре доизмельчения. При росте доли «слюда + глина» и вторичных минералов меди повышается роль управления шламами (водный режим, распределение реагентов, оптимизация гидродинамики) и необходимость контроля уноса пирита.

Рекомендованный контур оперативной производственной минералогии включает:

- 1) ежедневный анализ крупности питания, концентрата и хвостов;
- 2) размерно-раздельный анализ (+38/-38 мкм) для локализации причин потерь;
- 3) визуализацию совместно с KPI в PI Vision (качество концентрата/хвостов, т/ч, извлечение) и формирование наборов «триггеров» для действий (перенастройка клас-

сификации, корректировка реагентного режима, фокус на контрольной флотации). Наличие цифровых инструментов (Smart Tag для отслеживания руды, Mill Slicer для контроля загрузки мельницы, VisioFroth для мониторинга пены, TRIT-AI и решения на базе Power BI) создает инфраструктуру для внедрения такого подхода.

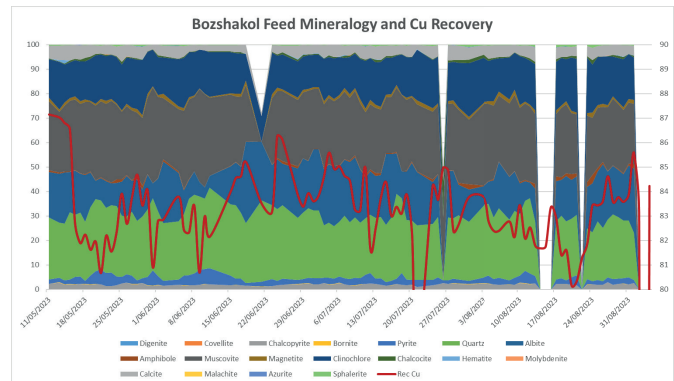


Рис. 4. Связь между ежедневными тенденциями минералогии и производительностью фабрики для выявления возможностей оптимизации процесса.

Сурет 4. Процесті оңтайландыру мүмкіндіктерін анықтау үшін минералогияның күнделікті үрдістері мен фабрика өнімділігінің арасындағы байланыс.

Figure 4. Relationship between daily mineralogy trends and plant performance to identify process optimization opportunities.

Заклучение

1. По эксплуатационным данным 2023 года для сульфидной линии диапазон переработки МПСИ (25–75% процентиль) составляет 3164–3540 т/ч, а извлечение меди – 82,0–84,4%. Геология влияет на показатели: высокие доли серицита и хлорита связаны со снижением переработки, брекчия – со снижением извлечения, андезит – с повышением извлечения.

2. По ежедневным данным рентгеноструктурного анализа выявлены статистически значимые связи минералогии питания и извлечения **Си**: пирит (Спирмен -0,47) и альбит (+0,34).

3. Минералогические обследования показали, что около 22% меди в питании основной флотации представлено плохо высвобожденным халькопиритом, а во фракции +125 мкм сосредоточено 13% всей меди; хвосты контрольной флотации являются основным носителем потерь (до 28% общей меди).

4. Моделирование по суточным данным 2022–2025 гг. подтверждает падение извлечений **Си** и **Аи** при росте P80; снижение P80 с 130 до 120 мкм может обеспечить прирост извлечения **Си** порядка 1,95%. Лабораторные тесты подтверждают тренд для **Си**, **Аи** и **Мо**.

5. Для практического внедрения предложена интеграция минералогии и P80 в оперативное управление с использованием PI Vision и размерно-раздельного анализа (+38/-38 мкм) для диагностики и снижения потерь меди.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Джелдрес Р., Форбс Л., Цистернас Л. Влияние глинистых минералов на процесс флотации медных руд: критический обзор, 2019. С. 57–69 (на английском языке)
2. Пенная флотация руды халькопирит/пирит: критический обзор / Кастеллон С., Торо Н., Гальвез Е. [и др.]. 2022. С. 19 (на английском языке)
3. Янг М., Женг И. Влияние глинистых минералов на реологию пульпы и процесс флотации в сульфидных рудах меди и золота // Минералс инжиниринг. 2015. С. 8–13 (на английском языке)
4. О возможности флотации окисленной медной руды с предварительной сульфидизацией модифицированным сульфидизатором / Оскембеков И.М. [и др.] // Комплексное использование минерального сырья. 2017. № 1 (302). С. 18–24 (на русском языке)
5. Использование модифицированного реагента в обогащении окисленных медных руд / Бүркітсетерқызы Г. [и др.] // Труды университета. 2023. № 1 (90). С. 55–58 (на русском языке)
6. Инновационные методы переработки медных руд в Казахстане / Кенжалиев Б.К. [и др.] // Комплексный подход к повышению эффективности извлечения ценных компонентов. 2024. № 3. С. 124–136 (на русском языке)
7. Селективное повышение флотоактивности сульфидов цветных металлов / Игнаткина В.А. [и др.] // Обогащение руд. 2015. № 3. С. 18–24 (на русском языке)
8. Анализ причин ухудшения технологических показателей флотации медьсодержащей сульфидной руды при камерной отработке медно-колчеданных месторождений / Игнаткина В.А. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 9. С. 5–22 (на русском языке)
9. Влияние модификаторов класса сульфоксидов на селективность флотации сульфидных минералов цветных металлов / Бочаров В.А. [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 12. С. 20–33 (на русском языке)
10. Александрова Т.Н., Прохорова Н.В. Модификация свойств породообразующих минералов при флотации медно-никелевых руд на примере месторождения Печенгского района // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 12. С. 123–138 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Джелдрес Р., Форбс Л., Цистернас Л. Сазды минералдардың мыс кендерін флотациялау үдерісіне әсері: сыни шолу, 2019. Б. 57–69 (ағылшын тілінде)
2. Халькопирит/пирит кенінің көбікті флотациясы: сыни шолу / Кастеллон С., Торо Н., Гальвез Е. [және т. б.]. 2022. Б. 19 (ағылшын тілінде)
3. Янг М., Женг И. Сазды минералдардың пульпа реологиясына және мыс пен алтынның сульфидті кендеріндегі флотация үдерісіне әсері // Минералс инжиниринг. 2015. Б. 8–13 (ағылшын тілінде)
4. Модификацияланған сульфидизатормен алдын ала сульфидтендіру арқылы тотыққан мыс кенін флотациялау мүмкіндігі туралы / Оскембеков И.М. [және т. б.] // Минералдық шикізатты кешенді пайдалану. 2017. № 1 (302). Б. 18–24 (орыс тілінде)
5. Тотыққан мыс кендерін байытуда модификацияланған реагентті қолдану / Бүркітсетерқызы Г. [және т. б.] // Университет еңбектері. 2023. № 1 (90). Б. 55–58 (орыс тілінде)
6. Кенжалиев Б.К., Койжанова А.К., Чепуштанова Т.А., Мукангалиева А.О., Магомедов Д.Р. Қазақстандағы мыс кендерін қайта өңдеудің инновациялық әдістері / Кенжалиев Б.К. [және т. б.] // Бағалы компоненттерді алудың тиімділігін арттыруға арналған кешенді тәсіл. 2024. № 3. Б. 124–136 (орыс тілінде)
7. Түсті металдар сульфидтерінің флотоактивтілігін селективті түрде арттыру / Игнаткина В.А. [және т. б.] // Кендерді байыту. 2015. № 3. Б. 18–24 (орыс тілінде)
8. Мысқұрамды сульфидті кен флотациясының технологиялық көрсеткіштері камералық қазу кезінде нашарлауының себептерін талдау (мыс-колчеданды кен орындары) / Игнаткина В.А. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2021. № 9. Б. 5–22 (орыс тілінде)
9. Сульфоксидтер класы модификаторларының түсті металдар сульфидті минералдарының флотация селективтілігіне әсері / Бочаров В.А. [және т. б.] // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2022. № 12. Б. 20–33 (орыс тілінде)
10. Александрова Т.Н., Прохорова Н.В. Печенга ауданындағы кен орны мысалында мыс-никель кендерін флотациялау кезінде жыныс түзуші минералдардың қасиеттерін модификациялау // Тау-кен ақпараттық-талдамалық бюллетені. 2023. № 12. Б. 123–138 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Jeldres R., Forbes L., Cisternas L. The Influence of Clay Minerals on the Flotation Process of Copper Ores: A Critical Review, 2019. 57–69 pp. (in English)

2. *Froth Flotation of Chalcopyrite/Pyrite Ore: A Critical Review / Castellon S., Toro N., Galvez E. [et al.]. 2022, 19 p. (in English)*
3. *Yang M., Zheng Y. The Influence of Clay Minerals on Pulp Rheology and the Flotation Process in Copper and Gold Sulfide Ores // Minerals Engineering. 2015. 8–13 pp. (in English)*
4. *O vozmozhnosti flotatsii okislennoi mednoi rudy s predvaritel'noi sul'fidizatsiei modifitsirovannym sul'fidizatorom [On the Possibility of Flotating Oxidized Copper Ore with Preliminary Sulfidization Using a Modified Sulfidizing Agent], Oskembekov I.M. [et al.], Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya [Complex Use of Mineral Raw Materials]. 2017. No. 1 (302). 18–24 pp. (in Russian)*
5. *Ispol'zovanie modifitsirovannogo reagenta v obogashchenii okislennykh mednykh rud [Use of a Modified Reagent in the Beneficiation of Oxidized Copper Ores], Burkitseterkyzy G. [et al.], Trudy universiteta [Proceedings of the University]. 2023. No. 1 (90). 55–58 pp. (in Russian)*
6. *Innovatsionnye metody pererabotki mednykh rud v Kazakhstane [Innovative Methods for Processing Copper Ores in Kazakhstan], Kenzhaliev B.K. [et al.], Kompleksnyi podkhod k povysheniyu effektivnosti izvlecheniya tsennykh komponentov [An Integrated Approach to Increasing the Efficiency of Valuable Component Recovery]. 2024. No. 3. 124–136 pp. (in Russian)*
7. *Selektivnoe povyshenie flotoaktivnosti sul'fidov tsvetnykh metallov [Selective Enhancement of the Flotation Activity of Non-Ferrous Metal Sulfides], Ignatkina V.A. [et al.], Obogashchenie rud [Ore Dressing]. 2015. No. 3. 18–24 pp. (in Russian)*
8. *Analiz prichin ukhudsheniya tekhnologicheskikh pokazatelei flotatsii med'soderzhashchei sul'fidnoi rudy pri kamernoi otrabotke medno-kolchedannykh mestorozhdenii [Analysis of the Causes of Deterioration in the Technological Performance of Flotation of Copper-Bearing Sulfide Ore During Chamber Mining of Copper-Pyrite Deposits], Ignatkina V.A. [et al.], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2021. No. 9. 5–22 pp. (in Russian)*
9. *Vliyanie modifikatorov klassa sul'foksidov na selektivnost' flotatsii sul'fidnykh mineralov tsvetnykh metallov [Effect of Sulfoxide-Class Modifiers on the Selectivity of Flotation of Non-Ferrous Metal Sulfide Minerals], Bocharov V.A. [et al.], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2022. No. 12. 20–33 pp. (in Russian)*
10. *Aleksandrova T.N., Prokhorova N.V. Modifikatsiya svoisty porodooobrazuyushchikh mineralov pri flotatsii medno-nikelevykh rud na primere mestorozhdeniya Pechengskogo raiona [Modification of the Properties of Rock-Forming Minerals During Flotation of Copper-Nickel Ores: A Case Study of a Deposit in the Pechenga District], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2023. No. 12. 123–138 pp. (in Russian)*

Сведения об авторах:

Сандыбекова И.Т., магистрант кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан); ведущий обогатитель KazMinerals, sandybekova90@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-2724-404X>

Барменишинова М.Б., канд. техн. наук, ассоциированный профессор, зав. кафедрой «Металлургия и обогащение полезных ископаемых», Казахский национальный исследовательский университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), m.barmenshinova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-0534-2387>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сандыбекова И.Т., «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының магистранты, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан); KazMinerals компаниясының жетекші байытушысы

Барменишинова М.Б., техн. ғыл. канд., қауымдастырылған профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының меңгерушісі, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sandybekova I.T., Master's student, Department of Metallurgy and Mineral Processing, K. I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Almaty, Kazakhstan); Lead Mineral Processing Engineer, KazMinerals

Barmenshinova M.B., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Metallurgy and Mineral Processing, K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University (Almaty, Kazakhstan)

Код МРНТИ 52.01.93

Н.Д. Спатаев, *Г.С. Саттарова, С.С. Кудрявцев, Н.М. Сулейменов

НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ВЛИЯНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ЛАВЫ НА СОСТОЯНИЕ ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА

Аннотация. В статье исследовано влияние изоляции выработанного пространства лавы на аэрогазовую ситуацию выемочного участка при прямооточной схеме проветривания. Цель – разработка аэродинамического способа управления вентиляцией с оптимизацией параметров изоляции для обеспечения устойчивого проветривания и безопасности ведения горных работ. На основе численного моделирования выявлены особенности распределения воздуха и выделения метана. Установлено, что повышенная воздухопроницаемость выработанного пространства и рост аэродинамического сопротивления поддерживаемых выработок вызывают локальные зоны загазирования. Обосновано, что изоляция выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки является наиболее эффективным способом управления аэрогазовой ситуацией, обеспечивающим стабилизацию воздушного потока, снижение утечек и устранение зон опасного загазирования.

Ключевые слова: прямооточная схема проветривания, очистной забой, изоляция выработанного пространства, загазирования, расход воздуха, поддерживаемая вентиляционная выработка, аэродинамическое сопротивление.

Лаваның өндіріліп алынған кеңістігін оқшаулаудың қазу аймағын желдету күйіне әсері

Аннотация. Бұл мақалада желдетудің тікелей тізбекті сызбасы кезінде аэрогазды жағдайға байланысты қазылған лаваның оқшаулауы, өңделген кеңістікке әсері зерттелді. Мақсат – тұрақты желдетуді және қауіпсіз тау-кен жұмыстарын қамтамасыз ету үшін оңтайландырылған оқшаулау параметрлері бар аэродинамикалық желдетуді басқару әдісін әзірлеу. Сандық модельдеу негізінде ауаның таралу заңдылықтары мен метан бөлінуі анықталды. Өндіріліп алынған кеңістіктің ауа өткізгіштігінің жоғарылауы және тірек қазбаларының аэродинамикалық кедергісінің артуы жергілікті газдану аймақтарын тудыратыны анықталды. Лаваның қазылған кеңістігін тірелген желдету жүйесінің жағынан оқшаулау ауа мен газ жағдайын бақылаудың ең тиімді жолы екені дәлелденген, бұл ауа ағынының бағыты мен жылдамдығын тұрақтандыруға, ауа ағып кетуін азайтуға және қауіпті газбен ластану аймақтарын іс жүзінде жоюға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: тікелей ағынды желдету сызбасы, жұмыс беті, өндірілген кеңістікті оқшаулау, газдандыру, ауа шығыны, ұсталымдағы желдету қазбасы, аэродинамикалық кедергі.

The influence of the isolation of the worked-out lava space on the state of ventilation in the excavation site

Abstract. The article studies the influence of isolation of the worked-out lava space on the air and gas situation in the excavation site with a direct-flow ventilation scheme. The aim is to develop an aerodynamic method of ventilation control with optimization of isolation parameters to ensure stable ventilation and safety of mining operations. Based on numerical modeling, the features of air distribution and methane emission were identified. It was found that the increased air permeability of the worked-out space and the increase in aerodynamic resistance of the worked-out areas cause local gas accumulation zones. It has been substantiated that isolating the worked-out space of the longwall from the supported ventilation output is the most effective way to control the air and gas situation, allowing to stabilize the air flow, reduce air leaks, and eliminate dangerous gas accumulation zones.

Key words: direct-flow ventilation scheme, working face, isolation of the mined-out space, gas accumulation, air consumption, supported ventilation output, aerodynamic resistance.

Введение

Угольная промышленность остается одной из ключевых отраслей экономики Казахстана, однако подземная добыча угля, особенно в Карагандинском бассейне, сопровождается высокими производственными рисками. Наиболее опасным фактором является выделение метана и образование взрывоопасных метановоздушных смесей, что нередко приводит к тяжелым авариям с человеческими жертвами и разрушением горных выработок и оборудования. Поэтому обеспечение безопасной разработки угольных месторождений и соблюдение требований промышленной безопасности остается актуальной задачей для энергетики и экономики страны.

В период с 1993 по 2023 год в угольных шахтах Казахстана произошло множество крупных аварий, связанных со взрывами метана, выбросами угля и газа и пожарами, унесших жизни сотен горняков. К наиболее трагическим относятся аварии 2004 г. на шахте «Шахтинская» (23 погибших), 2006 года на шахте им. Ленина (41 погибший) и 2023 г. на шахте им. Костенко, где при взрыве метановоздушной смеси погибли 46 человек [1]. Основным способом борьбы с метаном является проветривание горных выработок, обеспечивающее поддержание допустимых концентраций газа. Однако существующие меры часто оказываются недостаточно эффективными, что обуславливает необходимость совершенствования методов управления газовой выделением, мониторинга метана и разработки более надежных схем проветривания выемочных участков.

Вопросам проветривания угольных шахт посвящено значительное количество научных исследований, что связано с необходимостью повышения надежности и эффективности вентиляции горных выработок и обеспечения безопасности горных работ. Особенно активно данная проблематика изучается в Китае. Анализ публикаций по вентиляции шахт за 2010–2023 годы, представленный в работе [2], показывает этапы стабильного развития, замедленного роста и последующего быстрого подъема исследований. Основные направления работ связаны с моделированием воздушных потоков, газодинамикой и совершенствованием систем управления вентиляцией. Так, в исследованиях [3–5] разработаны трехмерные модели вентиляционных сетей, методы распределения расхода воздуха, устранения утечек, повышения точности измерений скорости воздуха, а также экспериментально подтверждена эффективность увеличения подачи воздуха для снижения концентрации газа в очистных забоях.

Современные исследования ориентированы на внедрение цифровых и интеллектуальных решений, включая дистанционное управление вентиляцией, применение датчиков и методов искусственного интеллекта для анализа данных в реальном времени [6–8]. Это позволяет оперативно корректировать распределение воздуха, выявлять опасные зоны и снижать риск техногенных аварий. В работе [9] предложен системный риск-ориентированный подход к снижению аварийности на основе моделирования аэрологической и газовой обстановки и анализа предвестников взрывоопасных состояний.

Несмотря на наличие целого ряда научных исследований в области шахтной вентиляции, применение инновационных технологий в проветривании проблема снижения рисков взрывов метана в угольных шахтах все еще не решена. Оценка, управление и снижение риска взрыва метановоздушной смеси на выемочных участках является составной частью системы управления промышленной безопасности шахт и представляет собой одну из приоритетных научных проблем. Вместе с тем проблемы устойчивого проветривания выемочных участков и предотвращения локальных загазований в очистных забоях, особенно при прямоточной схеме проветривания и наличии выработанного пространства лавы, остаются недостаточно изученными, что определяет необходимость разработки эффективных аэродинамических способов управления метановыделением и вентиляционными режимами выемочных участков.

Для решения научной проблемы в статье предложен и научно обоснован аэродинамический метод управления вентиляционным режимом выемочного участка. Его принципиальная новизна заключается в оптимизации параметров изоляции выработанного пространства лавы как ключевого фактора регулирования воздухораспределения. Реализация этого подхода позволяет повысить устойчивость проветривания, снизить риск локальных загазований и обеспечить безопасные условия ведения очистных работ.

Методы исследования

Исследование выполнено с применением комплекса аналитических, натурных и расчетных методов. В ходе исследований проведен анализ научно-технических публикаций и нормативных документов по вопросам проветривания выемочных участков и управления метановыделением при прямоточной схеме проветривания.

Натурные исследования основывались на анализе данных о состоянии аэрогазовой обстановки выемочного, полученные в ходе натурных газовоздушных и депрессионных съемок в очистных забоях лав 45К₁₀-З и 43К₂-З шахты им. Костенко Карагандинского угольного бассейна. Сбор данных проводился в соответствии с требованиями промышленной безопасности и методиками газо-воздушных и депрессионных съемок. При проведении газо-воздушных съемок в опорных точках исследуемых зон фиксировались значения таких параметров как C – объемное содержание метана в воздухе (%), скорость движения воздушного потока V (м/с) и расход воздуха Q (м³/с). При проведении депрессионных съемок в дополнение к замеренному расходу воздуха Q , замерялись потери напора h (даПа) между точками. Для изучения механизма загазования, утечек воздуха через обрушенный массив и их притоков в поддерживаемую вентиляционную выработку замеры проводились в натурных условиях действующих шахт. Зона загазования рассматривалась в трехмерной системе координат (X, Y, Z) , где точка 0 на почве в районе сопряжения линии очистного забоя и стенки поддерживаемой вентиляционной выработки служила началом координат. Ось Y направлена вдоль забоя, ось Z – перпендикулярно плоскости залегания пласта. Учитывая, что наиболее опасная газовая ситуация формируется у груди

очистного забоя в верхней его части, измерение концентрации метана проводились на расстоянии 0,05 м – 0,1 м от груди забоя и 2,2 м – 2,5 м от почвы очистного забоя. Измерения содержания метана по указанной линии проводились на участке равном 50 м – 60 м от сопряжения очистной выработки с поддерживаемой вентиляционной с шагом измерения 3 м – 5 м.

Для анализа распределения воздушных потоков использовалось численное моделирование на основе квазисетевой модели выемочного участка, позволяющее оценить влияние изоляции выработанного пространства на аэрогазодинамическую ситуацию. Достоверность расчетов подтверждена производственными экспериментами по изоляции выработанного пространства лавы и последующими контрольными измерениями.

Результаты исследования

В Карагандинском бассейне технологии выемки угольных пластов с прямоточной схемой проветривания на поддерживаемую вентиляционную выработку позволяют значительно увеличивать нагрузку на очистные забои, сокращать объем и затраты на подготовительные выработки, минимизировать потери угля в присечных целиках, а также создавать безопасные условия для локализованного сбора и удаления метана по источникам его выделения. Утечки воздуха из очистного забоя существенно влияют на газовый баланс выемочного участка. С одной стороны, часть метана благодаря утечкам минует добычный участок и удаляется на поддерживаемую вентиляционную выработку, с другой – уменьшается объем воздуха, участвующего в проветривании лавы, что повышает риск загазования призабойного пространства. Исследования аэродинамики выработанных пространств показали, что при прямоточной схеме проветривания с подсыжением струи воздуха возникают особенности формирования утечек: опасная по концентрации метана зона возникает в местах высокой воздухопроницаемости выработанного пространства лавы, особенно около точки взаимодействия основного потока воздуха по лаве и подсыжающей струи, подаваемой через прилегающую выработку к очистному забою.

Состояние поддерживаемой вентиляционной выработки оказывает ключевое влияние на аэрогазодинамику выемочного участка. Подверженная действию горного давления и обрушения пород, она испытывает деформацию крепи и уменьшение поперечного сечения в зоне первичной посадки кровли, что дополнительно влияет на распределение потоков воздуха и метана.

Исследованиями [10], проведенными на шахтах Карагандинского бассейна, установлено, что удельное аэродинамическое сопротивление таких выработок может возрастать до 40 раз и привести к изменению направления потока воздуха в призабойном пространстве лавы и образованию в 10–30 метрах от сопряжения лавы с поддерживаемой вентиляционной выработкой застойной зоны с повышением содержания метана. Поддержание вентиляционной выработки в нормальном состоянии с одновременным увеличением сопротивления выработанного пространства лавы является важным моментом в стабили-

зации газовой обстановки на выемочном участке. Выполнение этих условий в определенной степени может быть обеспечено при возведении охранно-изолирующих полос вдоль вентиляционной выработки. Это свидетельствует о том, что в системе «изолирующие сооружения – выработанное пространство», в процессе управления метановыделением определяющая роль принадлежит изолирующим сооружениям.

В ходе исследования сравнивались аэрогазовые ситуации в лаве в зоне загазирования (от 0 до 50–60 м от сопряжения с поддерживаемой вентиляционной выработкой) при различных режимах регулирования проветривания, таких как:

- без проведения каких-либо мероприятий;
- с применением подрывки почвы поддерживаемой вентиляционной выработки;
- с проведением изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки на удаление до 200 м от сопряжения с лавой.

Численное моделирование естественного распределения потоков воздуха в участковой вентиляционной сети было осуществлено на базе разработанной квазисетевой модели выемочного участка [11]. Общее количество участков, на которое делились лавы, и отработанная часть пласта были приняты одинаковыми для двух лав и равнялись $n = 10$.

По мере подвигания очистного забоя наблюдалось значительное, до 60%, уменьшение сечения поддерживаемой вентиляционной выработки по сравнению с проектным сечением. В связи с этим, по лаве 45K₁₀-3 проводилась подрывка почвы поддерживаемой вентиляционной выработки на удаление до 1000 м от сопряжения с очистным забоем, что, однако не дало существенного изменения аэрогазовой ситуации в очистном забое. По данным, полученным по лаве 45K₁₀-3, проведено моделирование, которое показало, что на расстоянии 30 м от сопряжения с поддерживаемой выработкой воздух опрокидывается. Фактические измерения показали, что в пределах 50 м от сопряжения скорость воздуха находится в пределах 0,1–0,2 м/с и вектор движения скорости по лаве обратный. В пределах зоны от 10 до 30 м по лаве скорость воздуха менее 0,1 м/с. Вектор движения скорости не определяется.

Дальнейшее моделирование с применением изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки на расстояние 32 метра и 54 метра от лавы показало, что аэрогазовая ситуация в лаве меняется незначительно. Для получения объективных данных о влиянии изоляции выработанного пространства лавы первоначально предусматривалась изоляция поддерживаемой вентиляционной выработки участками длиной 20, 40 и 60 м. Однако обследование ее фактического состояния перед шахтным экспериментом выявило значительные деформации арочной крепи и вывал породы, что затруднило проведение изоляционных работ. В связи с этим изоляция вентиляционного штрека в шахтных условиях была выполнена на участках длиной 32 и 54 м, что обусловило соответствующий выбор параметров моделирования аэрогазовой ситуации выемочного участка. При дальнейшем увеличении протяженности изо-

ляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки до 128 метров вектор скорости движения воздуха в лаве стабилизируется по всей длине, однако скорость движения воздуха ниже допустимого требованиями безопасности минимального и составляет 0,11–0,12 м/с.

Для обеспечения скорости движения воздуха по лаве, согласно требованиям промышленной безопасности, как показали расчеты, протяженность изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки должна составлять не менее 192 метра. Согласно разработанным мероприятиям по управлению проветриванием проводилась изоляция выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки. Проверочный эксперимент проводился следующим образом. Примыкающая к выработанному пространству лавы часть поддерживаемой вентиляционной выработки от почвы до середины верхняка арочной крепи изолировалась на протяжении 200 метров от лавы. В качестве изоляции применялся воздухонепроницаемый материал (вентиляционная труба, полиэтилен). Полосы материала крепились к элементам сетчатой и железобетонной затяжки между рамами крепи, стыки уплотнялись.

После проведения изоляции поддерживаемой вентиляционной выработки проводились контрольные измерения скорости движения и количества воздуха по лаве и поддерживаемой выработке. На рис. 1 представлены данные о влиянии различных способов управления проветриванием лавы 45K₁₀-3. Аналогичные исследования, проведенные для лавы 43K₂-3, показаны на рис. 2. Анализ полученных результатов демонстрирует, что зона загазирования в обеих лавых имеет протяженность около 30 м и располагается в интервале от 13 до 40 м от сопряжения лавы с поддерживаемой вентиляционной выработкой. Эти данные позволяют сделать вывод о схожести характера загазирования в рассматриваемых выработках.

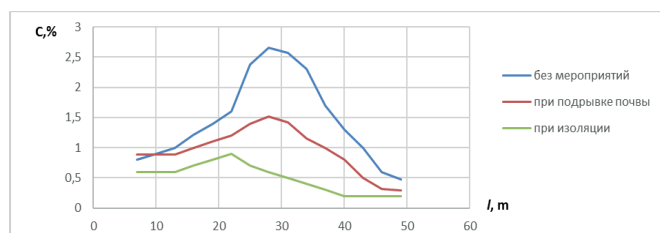


Рис. 1. Графики изменений концентраций метана в очистной выработке 45K10-3.

Сурет 1. 45K10-Z тазалау қазбасындағы метан концентрациясының өзгеру графикатері.

Figure 1. Graphs of changes in methane concentrations in the 45K10-W working face.

При проведении подрывки почвы в поддерживаемой вентиляционной выработке зоны загазирования в лаве 45K₁₀-3 уменьшились до 20 м, при этом концентрация газа уменьшилась с 2,4% до 1,5%. В лаве же 43K₂-3 зона загазирования практически не изменилась, однако максимальная концентрация метана понизилась с 2,2% до 1,8%. Относительно слабое влияние подрывки почвы поддер-

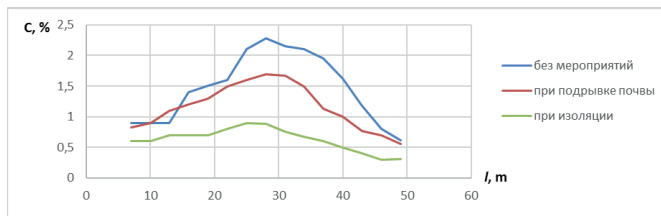


Рис. 2. Графики изменений концентраций метана в очистной выработке 43К₂-З.

Сурет 2. 43К₂-З тазала қазбасындағы метан концентрациясының өзгеру графиктері.

Figure 2. Graphs of changes in methane concentrations in the 43K₂-W working face.

живаемой вентиляционной выработки во втором случае можно объяснить более высокой проницаемостью выработанного пространства лавы 43К₂-З.

При изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки на расстояние до 200 м от сопряжения с лавой зона загазирования в обоих случаях практически отсутствовала, что видно из приведенных графиков на рис. 1 и 2. Следует также отметить, что после проведения изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки, как одного из мероприятий по управлению проветриванием, зоны сильного загазирования, протяженностью от 8 м до 10 м, имевшие место в обоих лавах, практически отсутствовали.

Таким образом, для обеспечения требований промышленной безопасности по содержанию метана необходимо проводить мероприятия по изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемых вентиляционных выработок. Наиболее удобной конструкцией для изоляции выемочного пространства является переносная изолирующая стенка из гибкого воздухопроницаемого материала, имеющего устройства фиксации этой изолирующей стенки на элементах горной крепи.

Обсуждение результатов

Результаты исследования показывают, что эффективность изоляции выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки обусловлена воздействием на основной путь утечек воздуха. Повышение аэродинамического сопротивления перетокам обеспечивает перераспределение воздушных потоков в

пользу очистного забоя, стабилизацию вентиляционной струи и устранение зон опасного загазирования. В отличие от подрывки почвы поддерживаемой выработки, изоляция обеспечивает устойчивый вентиляционный режим при протяженности не менее 190–200 м.

Преимуществом исследования является комплексное применение натуральных газо-воздушных и депрессионных съемок совместно с численным моделированием, что позволило количественно обосновать параметры изоляции для условий шахт Карагандинского угольного бассейна. Ограничения связаны с привязкой результатов к конкретным горно-геологическим условиям и использованием квазисетевой модели. Перспективы дальнейших исследований заключаются в уточнении параметров изоляции с учетом изменения газоносности и глубины разработки, а также интеграции аэродинамических методов с системами дегазации и автоматизированного мониторинга.

Заключение

Натурные исследования и результаты численного моделирования показали, что такие мероприятия, как подрывка почвы поддерживаемой вентиляционной выработки, не обеспечивают устойчивой стабилизации вентиляционного режима и в ряде случаев способствуют увеличению утечек воздуха через выработанное пространство. Наиболее эффективным способом управления аэрогазовой ситуацией является изоляция выработанного пространства лавы со стороны поддерживаемой вентиляционной выработки, позволяющая снизить утечки воздуха, стабилизировать направление и скорость воздушного потока в лаве и практически устранить зоны опасного загазирования.

Установлено, что для обеспечения требований промышленной безопасности по минимальной скорости движения воздуха и допустимому содержанию метана протяженность изоляции выработанного пространства должна составлять не менее 190–200 м от сопряжения лавы с поддерживаемой вентиляционной выработкой. Производственные эксперименты подтвердили достоверность расчетных и модельных данных. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации выемочных участков угольных шахт с прямоточной схемой проветривания для повышения устойчивости вентиляции, снижения риска образования взрывоопасных концентраций метана и обеспечения безопасных условий труда горнорабочих.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Повышение безопасности угольных шахт за счет регулирования аэродинамического сопротивления в очистных забоях: подход с использованием квазисетевой модели / Спатаев Н.Д. [и др.] // *Международный журнал по технике безопасности*. 2025. № 5 (15). С. 883–891 (на английском языке)
2. Янь Сюэ, Цзиньмяо Ван, Цзюнь Сяо. Библиометрический анализ и обзор литературы по шахтной вентиляции, опубликованной в период с 2010 по 2023 год // *Гелион*. 2024. № 10. С. 1–24 (на английском языке)
3. Анализ метода распределения расчетного количества воздуха при вентиляции угольных шахт на примере конкретного случая / Ван Ю. [и др.] // *Научные доклады*. 2024. № 14. С. 1–9 (на английском языке)
4. Экспериментальное исследование улучшения модели шахтной вентиляционной сети с использованием непрерывного мониторинга воздушного потока / Чжоу Л. [и др.] // *Горное дело, металлургия и геологоразведка*. 2022. № 39 (3). С. 887–895 (на английском языке)

5. Экспериментальное исследование по согласованию спроса и предложения на вентиляцию для снижения риска возникновения аварийных ситуаций с забойным газом в угольных шахтах / Сяодун Пей [и др.] // Геоматика, природные катаклизмы и риски. 2020. № 1 (11). С. 1299–1318 (на английском языке)
6. Сюй Хуан, Юньлун Лю. Исследование и проектирование интеллектуальной архитектуры шахтных вентиляционных сооружений // Международный журнал низкоуглеродных технологий. 2022. № 17. С. 1232–1238 (на английском языке)
7. Семин М., Кормициков Д. Применение искусственного интеллекта в шахтной вентиляции: краткий обзор // Рубежи в области искусственного интеллекта. 2024. № 7 (1402555). С. 1–8 (на английском языке)
8. Су С., Оуян М. Интеллектуальный метод управления вентиляцией угольной шахты, основанный на грубой установке и усовершенствованной капсульной сети // Наука и техника в области угля. 2021. № 49 (7). С. 124–132 (на китайском языке)
9. Ермаков А.Ю., Качурин Н.М., Сенкус В.В. Системный подход к обеспечению вентиляции и безопасности угольных шахт по аэрогазодинамическому фактору // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 7. С. 212–218 (на русском языке)
10. Акимбеков А.К. Специальные способы борьбы с метановыделением в горные выработки: рукопись деп. в КазгосИНТИ – № 6214–Ка95: Алматы, 1995. 103 с. (на русском языке)
11. Обеспечение здоровых и безопасных условий труда в очистном забое при прямоточной схеме вентиляции / Спатаев Н.Д. [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2023. № 2. С. 177–187 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Тазарту кенжарларындағы аэродинамикалық кедергіні реттеу арқылы көмір шахталарының қауіпсіздігін арттыру: квази-желілік модельді қолдану тәсілі / Спатаев Н.Д. [және т. б.] // Қауіпсіздік техникасы бойынша халықаралық журнал. 2025. № 5 (15). Б. 883–891 (ағылшын тілінде)
2. Ян Сюэ, Джинмяо Ван, Джун Сяо. 2010–2023 жылдар аралығында жарияланған шахталық желдету әдебиеттерін библиометриялық талдау және шолу // Гелион. 2024. № 10. Б. 1–24 (ағылшын тілінде)
3. Нақты жағдай мысалында көмір шахталарын желдету кезінде ауаның есептік мөлшерін бөлу әдісін талдау / Ван Ю. [және т. б.] // Ғылыми баяндамалар. 2024. № 14. Б. 1–9 (ағылшын тілінде)
4. Ауа ағынының үздіксіз мониторингін қолдана отырып, шахтаның желдету желісінің моделін жетілдіруге арналған эксперименттік зерттеу / Чжоу Л. [және т. б.] // Тау-кен, металлургия және геологиялық барлау. 2022. № 39 (3). Б. 887–895 (ағылшын тілінде)
5. Көмір шахталарында кенжар газымен авариялық жағдайлардың туындау қаупін азайту үшін желдетуге сұраныс пен ұсынысты келісу бойынша эксперименттік зерттеу / Сяодун Пей [және т. б.] // Геоматика, табиғи апаттар және тәуекелдер. 2020. № 1 (11). Б. 1299–1318 (ағылшын тілінде)
6. Сю Хуан, Юнлонг Лю. Шахталық желдету қондырғыларының интеллектуалды архитектурасын зерттеу және жобалау // Төмен көміртекті технологиялардың халықаралық журналы. 2022. № 17. Б. 1232–1238 (ағылшын тілінде)
7. Семин М., Кормициков Д. Шахталық желдетуде жасанды интеллектті қолдану: қысқаша шолу // Жасанды интеллект саласындағы шекаралар. 2024. № 7 (1402555). Б. 1–8 (ағылшын тілінде)
8. Су С., Оуян М. Дөрекі қондырғы мен жетілдірілген капсула желісіне негізделген көмір шахтасының желдетуін басқарудың интеллектуалды әдісі // Көмір саласындағы ғылым мен техника. 2021. № 49 (7). Б. 124–132 (қытай тілінде)
9. Ермаков А. Ю., Качурин Н.М., Сенкус В.В. Аэрогазодинамикалық фактор бойынша көмір шахталарының желдетуі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етудің жүйелік тәсілі // Тау – кен ақпараттық-талдау бюллетені. 2018. № 7. Б. 212–218 (орыс тілінде)
10. Акимбеков А. К. Тау-кен қазбаларына метан шығарумен күресудің арнайы әдістері: қолжазба сақталды КазгосИНТИ – № 6214–Ка95: Алматы, 1995. 103 б. (орыс тілінде)
11. Желдетудің тікелей ағымдық схемасы кезінде тазарту кенжарында салауатты және қауіпсіз еңбек жағдайларын қамтамасыз ету / Спатаев Н.Д. [және т. б.] // Қазақстан Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. 2023. № 2. Б. 177–187 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Improving Coal Mine Safety via Aerodynamic Resistance Control in Longwall Faces: A Quasi-Network Model Approach / Spatayev N.D. [et al.] // International Journal of Safety and Security Engineering. 2025. No. 5 (15). 883–891 pp. (in English)
2. Yan Xue, Jinmiao Wang, Jun Xiao. Bibliometric analysis and review of mine ventilation literature published between 2010 and 2023 // Heliyon. 2024. No. 10. 1–24 pp. (in English)

3. *Analysis of distribution method of designed air quantity in coal mine ventilation – a case study / Wang Y. [et al.] // Scientific Reports. 2024. No. 14. 1–9 pp. (in English)*
4. *Experimental study of improving a mine ventilation network model using continuously monitored airflow / Zhou L. [et al.] // Mining, Metallurgy & Exploration. 2022. No. 39 (3). 887–895 pp. (in English)*
5. *Experimental study on ventilation supply – demand matching to dispense the stope gas disaster risk of coal mines / Xiaodong Pei [et al.] // Geomatics, natural hazards and risk. 2020. No. 1 (11). 1299–1318 pp. (in English)*
6. *Xu Huang, Yunlong Liu. Research and design of intelligent mine ventilation construction architecture // International Journal of Low-Carbon Technologies. 2022. No. 17. 1232–1238 pp. (in English)*
7. *Semin M., Kormshchikov D. Application of artificial intelligence in mine ventilation: a brief review // Frontiers in Artificial Intelligence. 2024. No. 7 (1402555). 1–8 pp. (in English)*
8. *Su S., Ouyang M. Intelligent ventilation management method of coal mine based on rough set and improved capsule network // Coal Science and Technology. 2021. No. 49 (7). 124–132 pp. (in Chinese)*
9. *Ermakov A.Yu., Kachurin N.M., Senkus V.V. Sistemnyj podhod k obespecheniju ventiljaccii i bezopasnosti ugol'nyh shaht po ajerogazodinamicheskomu faktoru [A systematic approach to ensuring ventilation and safety of coal mines by the aerogasodynamic factor], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining information and analytical bulletin]. 2018. No. 7. 212–218 pp. (in Russian)*
10. *Akimbekov A. K. Spetsial'nye sposoby bor'by s metanovydeleniem v gornye vyrabotki: rukopis' dep. v KazgosINTI – № 6214–Ka95 [Special ways to control methane release into mining operations: The manuscript has been deposited KazgosINTI – No. 6214–Ka95]. Almaty, 1995. 103 p. (in Russian)*
11. *Ensuring healthy and safe working conditions in breakage face with direct-flow ventilation scheme / Spatayev N.D. [et al.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2023. No. 2. 177–187 pp. (in English)*

Сведения об авторах:

Спатаев Н.Д., канд. тех. наук, ассоц. профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), n.spataev@ktu.edu.kz; <https://orsid.org/0000-0003-1967-7698>

Саттарова Г.С., канд. тех. наук, ассоц. профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), g.sattarova@ktu.edu.kz; <https://orsid.org/0000-0002-9764-2311>

Кудрявцев С.С., канд. биол. наук, профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), s.kudryavtsev@ktu.edu.kz; <https://orsid.org/0000-0002-7232-6304>

Сүлейменов Н.М., доктор Ph.D; ассоц. профессор кафедры «Промышленная безопасность и экология», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), n.suleymenov@ktu.edu.kz; <https://orsid.org/0000-0001-8875-2204>

Авторлар туралы мәліметтер:

Спатаев Н.Д., техн. ғылым. канд., «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Саттарова Г.С., техн. ғылым. канд., «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Кудрявцев С.С., биол. ғылым. канд., «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ (Қарағанды қ., Қазақстан)

Сүлейменов Н.М., Ph.D докторы, «Өнеркәсіптік қауіпсіздік және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Spataev N.D., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Ecology, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Sattarova G.S., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Ecology, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Kudryavtsev S.S., Candidate of Biological Sciences, Professor of the Department of Industrial Safety and Ecology, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Suleymenov N.M., Ph.D, Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Ecology, NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University» (Karaganda, Kazakhstan)

Код МРНТИ 87.21.02

*D.K. Sunakbaeva¹, D.Kh. Yuldashbek¹, K.U. Aitekova², D.D. Kenzhaliyev²
¹*Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan),*
²*Sherkhan Murtaza International Taraz University (Taraz, Kazakhstan)*

CHELATION OF HEAVY METALS IN CONTAMINATED SOILS OF MINING REGIONS OF KAZAKHSTAN USING VERMICOMPOST

Abstract. This study examines soil contamination by heavy metals in mining regions and evaluates the effect of vermicompost on their immobilisation. The accumulation of *Pb*, *Cd*, *Cu*, and *Zn* in Kazakhstan is associated with intensive mining and metallurgical activities, leading to soil degradation. Vermicompost produced with the participation of *Eisenia fetida* contains humic substances that promote metal chelation. It was found that its application reduces the mobility of heavy metals and increases the organic matter content in soil. The concentration of mobile *Pb* decreased from 120 to 40 mg/kg, with similar trends observed for *Cd*, *Cu*, and *Zn*. The effect is attributed to the formation of stable organometallic complexes. Vermicompost is shown to be an effective and environmentally friendly method for soil remediation.

Key words: heavy metals, soil contamination, vermicompost, chelation, soil remediation, mining regions.

Қазақстанның тау-кен аймақтарындағы ауыр металдармен ластанған топырақтың вермикомпост қолдану арқылы хелатталуы

Аннотация. Бұл зерттеуде тау-кен өндіру аймақтарындағы топырақтың ауыр металдармен ластануы және оларды иммобилизациялауда вермикомпосттың әсері қарастырылды. Қазақстанда *Pb*, *Cd*, *Cu* және *Zn* жиналуы қарқынды тау-кен және металлургиялық қызметпен байланысты, бұл топырақтың деградациясына әкеледі. *Eisenia fetida* қатысуымен алынған вермикомпост құрамында металдарды хелаттауға ықпал ететін гумустық заттар бар. Оның қолданылуы ауыр металдардың жылжымалылығын төмендетіп, топырақтағы органикалық заттардың мөлшерін арттыратыны анықталды. Жылжымалы *Pb* концентрациясы 120-дан 40 мг/кг-ға дейін төмендеді, ұқсас өзгерістер *Cd*, *Cu* және *Zn* үшін де байқалды. Бұл әсер тұрақты металлоорганикалық кешендердің түзілуімен түсіндіріледі. Вермикомпост топырақты қалпына келтірудің экологиялық қауіпсіз және тиімді әдісі болып табылады.

Түйінді сөздер: ауыр металдар, топырақ ластануы, вермикомпост, хелатталу, топырақты қалпына келтіру, тау-кен аймақтары.

Хелатирование тяжелых металлов в загрязненных почвах горнодобывающих регионов Казахстана с использованием вермикомпоста

Аннотация. В данном исследовании изучено загрязнение почв тяжелыми металлами в горнодобывающих регионах и оценено влияние вермикомпоста на их иммобилизацию. Накопление *Pb*, *Cd*, *Cu* и *Zn* в Казахстане связано с интенсивной добычей и металлургией, что приводит к деградации почв. Вермикомпост, полученный с участием *Eisenia fetida*, содержит гумусовые вещества, способствующие хелатированию металлов. Установлено, что его применение снижает подвижность тяжелых металлов и повышает содержание органического вещества. Концентрация подвижного *Pb* снизилась с 120 до 40 мг/кг, аналогичные изменения отмечены для *Cd*, *Cu* и *Zn*. Эффект связан с образованием устойчивых металлоорганических комплексов. Вермикомпост эффективен как экологически безопасный метод ремедиации почв.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение почв, вермикомпост, хелатирование, ремедиация почв, горнодобывающие регионы.

Introduction

Soil contamination with heavy metals is one of the most serious environmental problems, particularly in regions with developed mining and metallurgical industries [1, 2]. During the processes of extraction, processing, and waste storage, significant amounts of toxic elements, including lead (*Pb*), cadmium (*Cd*), copper (*Cu*), zinc (*Zn*), nickel (*Ni*), and chromium (*Cr*), are released into the environment [3]. These elements are highly persistent under natural conditions, do not undergo biological decomposition, and can accumulate in soil ecosystems, negatively affecting microorganisms, plants, and human health [4].

In Kazakhstan, anthropogenic soil contamination is a serious environmental issue, most pronounced in regions with developed mining industries, such as East Kazakhstan, Karaganda, Pavlodar, and Turkestan [5]. Prolonged exploitation of mineral deposits, metallurgical-enterprise activities, and accumulation of industrial waste lead to the formation of zones with elevated heavy metal concentrations in soils [6]. Under such conditions, the natural functioning of soil ecosystems is disrupted, biological activity decreases, and the agrochemical properties of soils deteriorate.

One of the most promising approaches for the ecological remediation of contaminated soils is the use of organic amendments [7]. Of particular interest is vermicompost – a product of biological processing of organic waste by earthworms, characterised by a high content of humic substances, enzymes, amino acids, and biologically active compounds [8]. Due to its rich composition of organic compounds, vermicompost can significantly alter the physicochemical and biological properties of soil.

An important mechanism for reducing the toxicity of heavy metals when using organic amendments is chelation, in which metal ions are bound by functional groups of organic substances to form stable complex compounds [9]. Humic and fulvic acids present in vermicompost contain carboxyl, phenolic, and hydroxyl groups capable of forming stable organometallic complexes [10]. As a result of this process, metal mobility in the soil is reduced, along with their solubility and bioavailability to plants.

In addition, the application of vermicompost promotes an increase in organic matter content, improvement of soil structure, and enhancement of microbiological activity and enzymatic processes [11]. These changes play an important role in the restoration of degraded soil ecosystems and in reducing the environmental risks associated with heavy metal contamination.

Despite the considerable number of studies on contaminated soil remediation, the effectiveness of vermicompost for immobilising heavy metals under arid soil conditions in Kazakhstan remains insufficiently studied [12]. The experiment was conducted on soils affected by anthropogenic impact in one of the mining regions of Kazakhstan. The limited geographic coverage of the study should be considered when interpreting the results. The aim of this work is to investigate the chelation processes of heavy metals in contaminated soils upon vermicompost application and to assess its effect on metal mobility and soil property restoration.

Materials and Methods

The study was conducted on soils affected by anthropogenic impact in one of the mining districts of the East Kazakhstan

region, reflecting the local nature of the research. Soil samples with elevated heavy metal content were used as the study objects [1].

For the experiment, vermicompost obtained from the processing of organic waste by earthworms of the species *Eisenia fetida* was used [8]. Vermicompost was applied to the soil at various doses to assess its effect on soil chemical properties and metal mobility.

The physicochemical properties of the soils were determined using standard agrochemical analysis methods. The pH, organic matter content, and concentrations of heavy metals in mobile forms were measured [3, 9]. Mechanisms of heavy metal binding were evaluated based on changes in their solubility and interactions with the organic functional groups of humic substances.

Results

The application of vermicompost led to significant changes in the chemical properties of contaminated soils. An increase in organic matter and humic compounds was observed, along with the stabilisation of the soil pH.

The humic components of vermicompost actively interacted with heavy metal ions, forming stable complex compounds. Carboxyl, phenolic, and hydroxyl groups of humic substances act as ligands capable of binding metal ions through multiple coordination bonds. As a result, chelate complexes with high stability and low solubility were formed.

Long-term monitoring showed that these chelate complexes persist in the soil for several months after vermicompost application, ensuring stable immobilisation of heavy metals. This was accompanied by a reduction in metal mobility and decreased availability to plants throughout the observation period.

The concentration of mobile **Pb** decreased from 120 mg/kg in untreated soil to 40 mg/kg at a vermicompost dose of 20 t/ha, with a similar trend observed for **Cd**, **Cu** and **Zn** (Figures 1–4). In addition, vermicompost application increased soil organic matter content from 1.8% to 4.4%, which further contributed to metal immobilisation (Figure 5).

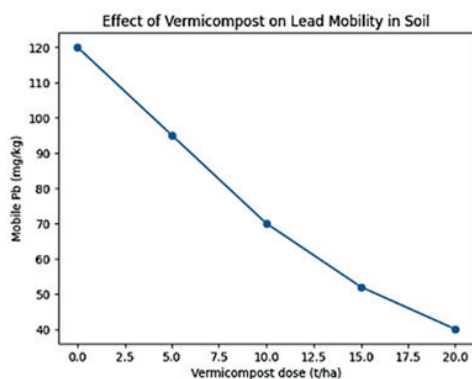


Figure 1. Effect of vermicompost application on Pb mobility in contaminated soil.

Сурет 1. Ластанған топырақтағы Pb жылжуына вермикомпостты қолданудың әсері.

Рис. 1. Влияние внесения вермикомпоста на подвижность Pb в загрязненной почве.

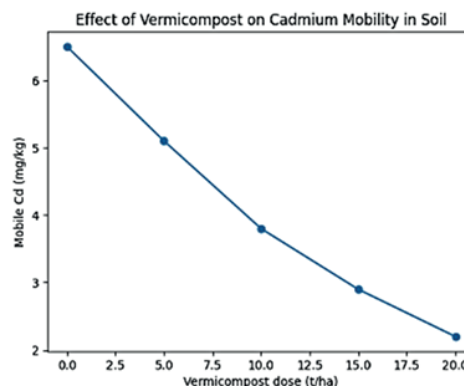


Figure 2. Effect of vermicompost application on Cd mobility in contaminated soil

Сурет 2. Ластанған топырақтағы Cd жылжуына вермикомпостты қолданудың әсері.

Рис. 2. Влияние внесения вермикомпоста на подвижность Cd в загрязненной почве.

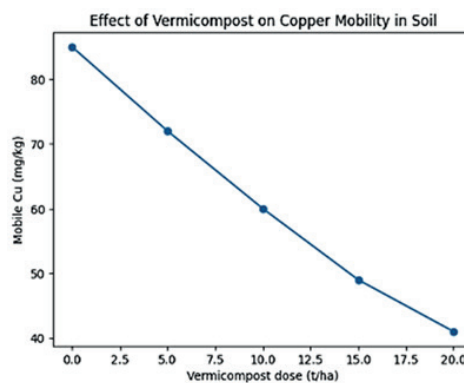


Figure 3. Effect of vermicompost application on Cu mobility in contaminated soil.

Сурет 3. Ластанған топырақтағы Cu жылжуына вермикомпостты қолданудың әсері.

Рис. 3. Влияние внесения вермикомпоста на подвижность Cu в загрязненной почве.

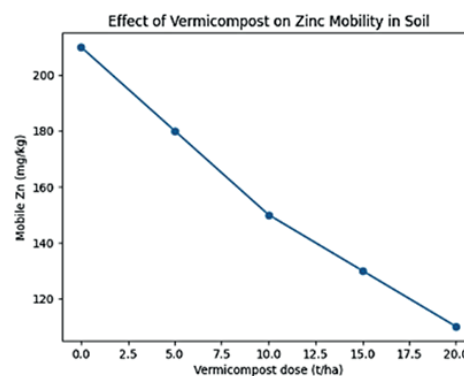


Figure 4. Effect of vermicompost application on Zn mobility in contaminated soil

Сурет 4. Ластанған топырақтағы Zn жылжуына вермикомпостты қолданудың әсері.

Рис. 4. лияние внесения вермикомпоста на подвижность Zn в загрязненной почве.

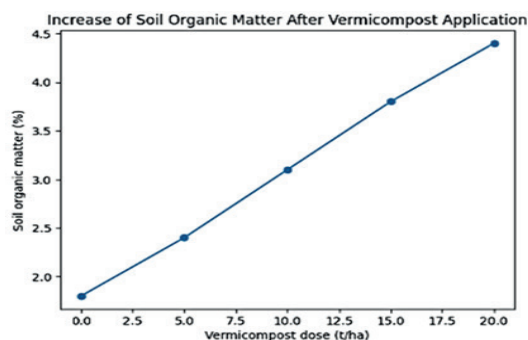


Figure 5. Increase in soil organic matter content after vermicompost application

Сурет 5. Топырақ құрамындағы органикалық заттардың вермикомпост қосқан кездегі жоғарылау көрсеткіштері.

Рис. 5. Увеличение содержания органического вещества в почве после внесения вермикомпоста.

Monitoring of soil biological activity indicated positive dynamics: microbial activity increased, contributing to the restoration of biological balance and enhancing the transformation of metals into stable organo-mineral forms. Thus, vermicompost application not only stabilises the chemical properties of the soil but also restores its bioactivity, providing comprehensive improvement of contaminated soil quality.

Discussion

The results obtained showed that the application of vermicompost has a significant effect on reducing the mobility of heavy metals in contaminated soils. With increasing doses of vermicompost, a consistent decrease in the concentrations of mobile forms of *Pb*, *Cd*, *Cu* and *Zn* was observed. The most pronounced reduction was noted for lead: its content decreased from 120 to 40 mg/kg at a vermicompost dose of 20 t/ha (Table 1). A similar trend was observed for cadmium, copper, and zinc, confirming the effectiveness of using an organic ameliorant for stabilising toxic elements.

The reduction in heavy metal mobility is associated with chelation processes due to the high content of humic substances in vermicompost. Humic and fulvic acids contain functional groups ($-COOH$, $-OH$, $-C=O$) capable of forming stable complex compounds with metal ions. The formation of organometallic complexes decreases the solubility of metals and limits their migration within the soil profile.

An additional factor in immobilisation is the increase in soil organic matter content. The experiment showed that vermicompost application increased the organic matter content from 1.8 to 4.4%, which contributes to improved soil structure, en-

Table 1
Effect of vermicompost on the mobility of heavy metals in contaminated soil

Кесте 1
Ластанған топырақтағы ауыр металдардың қозғалғыштығына вермикомпосттың әсері

Таблица 1
Влияние вермикомпоста на подвижность тяжелых металлов в загрязненной почве

Vermicompost dose (t/ha)	<i>Pb</i> (mg/kg)	<i>Cd</i> (mg/kg)	<i>Cu</i> (mg/kg)	<i>Zn</i> (mg/kg)	Soil organic matter (%)
0	120	6.5	85	210	1.8
5	95	5.1	72	180	2.4
10	70	3.8	60	150	3.1
15	52	2.9	49	130	3.8
20	40	2.2	41	110	4.4

hanced cation exchange capacity, and a greater ability to retain heavy metal ions.

The increase in organic matter also promotes the activation of microbiological processes. Soil microorganisms participate in metal transformation and the formation of stable organo-mineral complexes, which helps restore the biological activity of the soil ecosystem.

Thus, the application of vermicompost can be considered an effective and environmentally safe method for remediating contaminated soils, with promising potential for use in the mining regions of Kazakhstan.

Conclusion

The results of the study confirm the effectiveness of vermicompost application in reducing the mobility of heavy metals in contaminated soils. It was found that increasing the dose of vermicompost leads to a significant decrease in the concentrations of mobile forms of *Pb*, *Cd*, *Cu* and *Zn*. The primary mechanism for reducing metal mobility is chelation, resulting from the interaction of metal ions with the functional groups of humic substances.

In addition, the application of vermicompost promotes an increase in soil organic matter, improvement of its physico-chemical properties, and enhancement of biological activity. These changes play an important role in restoring the ecological condition of degraded soils.

Thus, the use of vermicompost represents a promising and environmentally safe technology for the remediation of contaminated soils in the mining regions of Kazakhstan. This approach helps reduce the bioavailability of heavy metals, limit their migration within the soil-plant system, and enhance the resilience of soil ecosystems.

REFERENCES

1. Ali H., Khan E., Ilahi I. (March 5, 2019). *Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation*. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305> (in English)
2. *Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety* / Toth G. [et al.] // *Environmental International*. 2018. V. 88. 299–309 pp. (in English)

3. Remediation of heavy metal contaminated soils by using *Solanum nigrum*: A review / Rehman M.Z.U. [et al.] // *Ecotoxicology and environmental safety*. 2017. V. 143. 236–248 pp. (in English)
4. Chapter1 – Uptake and translocation mechanisms of metals/metalloids in plants through soil and water / Ulhassan Z. [et al.] // *Metals Metalloids Soil Plant Water Systems: Phytophysiology and Remediation Techniques*. 2022. 1–28 pp. (in English)
5. Faurat A., Azhayeve G., Shupshibayev K., Akhmetov K., Boribay E., Abylkhassanov T. (July 30, 2024). Assessment of Heavy Metal Contamination and Health Risks in «Snow Cover – Soil Cover – Vegetation System» of Urban and Rural Gardens of an Industrial City in Kazakhstan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph21081002> (in English)
6. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment / Motuzova G.V. [et al.] // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. V. 144 (B). 241–246 pp. (in English)
7. Beesley L., Moreno-Jiménez E., Gomez-Eyles J.L. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil // *Environmental Pollution*. 2010. V. 15 8(6). 2282–2287 (in English)
8. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics / Lim S. L. [et al.] // *Journal of the science of food and agriculture*. 2015. V. 95 (6). 1143–1156 pp. (in English)
9. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils--to mobilize or to immobilize? / Bolan N. [et al.] // *Journal of hazardous materials*. 2014. V. 266. 141–166 pp. (in English)
10. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake / Shahid M. [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. 2017. V. 325. 36–58 pp. (in English)
11. Agegnehu G., Srivastava A.K., Bird M.I. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review // *Applied Soil Ecology*. 2017. V. 119. 156–170 pp. (in English)
12. Selecting chemical and ecotoxicological test batteries for risk assessment of trace element-contaminated soils (phyto)managed by gentle remediation options (GRO) / Kumpiene J. [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2014. V. 496. 510–522 pp. (in English)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Али Х., Хан Е., Илахи И. (2019 жылғы 5 наурыз). Қауіпті ауыр металдардың қоршаған ортадағы химиясы және экотоксикологиясы: қоршаған ортада тұрақтылық, уыттылық және биоқорлану // *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305> (ағылшын тілінде)
2. Еуропалық Одақтың ауыл шаруашылығы топырақтарындағы ауыр металдар және азық-түлік қауіпсіздігіне әсері / Том Г. [және т. б.] // *Environmental International*. 2018. Т. 88. Б. 299–309 (ағылшын тілінде)
3. *Solanum nigrum* пайдаланып ауыр металмен ластанған топырақты қалпына келтіру: шолу / Рехман М.З.У. [және т. б.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017. Т. 143. Б. 236–248 (ағылшын тілінде)
4. Бөлім 1 – Өсімдіктерде металдар/металлоидтердің топырақ және су арқылы жұтылу және тасымалдану механизмдері / Ульхассан З. [және т. б.] // *Metals Metalloids Soil Plant Water Systems: Phytophysiology and Remediation Techniques*. 2022. Б. 1–28 (ағылшын тілінде)
5. Фоарат А., Ажаев Г., Шуншибаев К., Ахметов К., Борибай Е., Абылхассанов Т. (2024 жылғы 30 шілде). Қазақстандағы индустриалды қаладағы қала және ауыл бақшаларының «Қар жабын – Топырақ қабаты – Өсімдіктер жүйесі» бойынша ауыр металдармен ластану және денсаулық қауіптерін бағалау. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph21081002> (ағылшын тілінде)
6. Ауыр металдармен топырақтың ластануы қоршаған ортаға әлеуетті және нақты қауіп / Мотузова Г.В. [және т. б.] // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Т. 144 (B). Б. 241–246 (ағылшын тілінде)
7. Бизли Л., Морено-Хименес Е., Гомез-Эйлс Дж.Л. Биочар және жасыл қалдық компосттарын қосу топырақтағы әртүрлі ластанған заттардың қозғалғыштығы, биоқолданылуы және уыттылығына әсері // *Environmental Pollution*. 2010. Т. 158 (6). Б. 2282–2287 (ағылшын тілінде)
8. Органикалық ауыл шаруашылығында құмырсқақұрт компостын пайдалану: шолу, топыраққа әсері және экономикалық тиімділігі / Лим С.Л. [және т. б.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015. Т. 95 (6). Б. 1143–1156 (ағылшын тілінде)

9. Ауыр металдармен (металлоидтармен) ластанған топырақты қалпына келтіру – қозғалту немесе тұрақтандыру керек пе? / Болан Н. [және т. б.] // *Journal of Hazardous Materials*. 2014. Т. 266. Б. 141–166 (ағылшын тілінде)
10. Өсімдіктерде жапырақ арқылы ауыр металдардың жұтылуы, уыттылығы және детоксикациясы: жапырақ және тамыр арқылы жұтылуды салыстыру / Шахид М. [және т. б.] // *Journal of Hazardous Materials*. 2017. Т. 325. Б. 36–58 (ағылшын тілінде)
11. Агенеху Г., Сривстава А.К., Берд М.И. Биочар мен биочар-компосттың топырақ сапасын және егістік өнімділігін жақсартудағы рөлі: шолу // *Applied Soil Ecology*. 2017. Т. 119. Б. 156–170 (ағылшын тілінде)
12. Қалдықтарды жұмсақ қалпына келтіру әдістерімен (GRO) басқарылатын із элементтермен ластанған топырақтардың қауіптілігін бағалау үшін химиялық және экотоксикологиялық тест жиынтықтарын таңдау / Кумпиене Ж. [және т. б.] // *Science of The Total Environment*. 2014. Т. 496. Б. 510–522 (ағылшын тілінде)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Али Х., Хан Е., Илахи И. (5 марта 2019 г.). Экологическая химия и экотоксикология опасных тяжелых металлов: устойчивость в окружающей среде, токсичность и биоаккумуляция. *Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305> (на английском языке)
2. Тяжелые металлы в сельскохозяйственных почвах Европейского Союза и их значение для безопасности продуктов питания / Том Г. [и др.] // *Environmental International*. 2018. Т. 88. С. 299–309 (на английском языке)
3. Ремедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами, с использованием *Solanum nigrum*: обзор / Рехман М.З.У. [и др.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017. Т. 143. С. 236–248 (на английском языке)
4. Глава 1 – Механизмы поглощения и транспорта металлов/металлоидов в растениях через почву и воду / Ульхассан З. [и др.] // *Metals Metalloids Soil Plant Water Systems: Phytophysiology and Remediation Techniques*. 2022. С. 1–28 (на английском языке)
5. Фоарат А., Ажаев Г., Шупшибаев К., Ахметов К., Борибай Е., Абылхассанов Т. (30 июля 2024 г.). Оценка загрязнения тяжелыми металлами и рисков для здоровья в системе «Снежный покров – Почвенный покров – Растительность» городских и сельских садов промышленного города Казахстана. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph21081002> (на английском языке)
6. Загрязнение почв тяжелыми металлами как потенциальная и реальная угроза для окружающей среды / Мотузова Г.В. [и др.] // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. Т. 144 (В). С. 241–246 (на английском языке)
7. Бизли Л., Морено-Хименес Е., Гомез-Эйлс Дж. Л. Влияние внесения биочара и компоста из зеленых отходов на подвижность, биодоступность и токсичность неорганических и органических загрязнителей в многокомпонентно загрязненной почве // *Environmental Pollution*. 2010. Т. 158 (6). С. 2282–2287 (на английском языке)
8. Использование вермикомпоста в органическом земледелии: обзор, влияние на почву и экономика / Лим С.Л. [и др.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015. Т. 95 (6). С. 1143–1156 (на английском языке)
9. Ремедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами (металлоидов) – мобилизовать или иммобилизовать? / Болан Н. [и др.] // *Journal of Hazardous Materials*. 2014. Т. 266. С. 141–166 (на английском языке)
10. Поглощение тяжелых металлов листьями, токсичность и детоксикация растений: сравнение листового и корневого поглощения / Шахид М. [и др.] // *Journal of Hazardous Materials*. 2017. Т. 325. С. 36–58 (на английском языке)
11. Агенеху Г., Сривстава А.К., Берд М.И. Роль биочара и биочар-компоста в улучшении качества почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур: обзор // *Applied Soil Ecology*. 2017. Т. 119. С. 156–170 (на английском языке)
12. Выбор химических и экотоксикологических тестов для оценки риска почв, загрязненных микроэлементами, управляемых мягкими методами ремедиации (GRO) / Кумпиене Ж. [и др.] // *Science of The Total Environment*. 2014. Т. 496. С. 510–522 (на английском языке)

Information about the authors:

Sunakbayeva D.K., candidate of technical sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan), dilara.sunakbayeva@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0006-3727-4891>

Yuldashbek D.Kh., Master of Chemistry, Senior Researcher of the Research Institute «Ecology», Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan), davlat.yuldashbek@ayu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9342-7502>

Aйтекова К.У., candidate of technical sciences, assistant professor, Sherkhan Murtaza International Taraz University (Taraz, Kazakhstan), Aytekova1972@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8439-944X>

Kenzhaliyev D.D., master of agricultural sciences, assistant, Sherkhan Murtaza International Taraz University (Taraz, Kazakhstan), kenzhaliev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1455-9385>

Авторлар туралы мәліметтер:

Сунақбаева 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)

Кенжалиев Д.Д., ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ассистент, Шерхан Мұртаза атындағы Халықаралық Тараз университеті (Тараз қ., Қазақстан)

Сведения об авторах:

Сунақбаева Д.К., к.т.н., Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Юлдашбек Д.Х., магистр химии, старший научный сотрудник НИИ «Экология», Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави (г. Туркестан, Казахстан)

Айтекова К.У., к.т.н., ассистент профессора, Международный Таразский университет им. Шерхана Муртазы (г. Тараз, Казахстан)

Кенжалиев Д.Д., магистр сельского хозяйства, ассистент, Международный Таразский университет им. Шерхана Муртазы (г. Тараз, Казахстан)



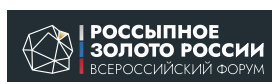
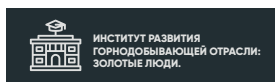
СПТОКРАНЫ
WWW.CRANE-EXPO.RU

17-19 июня 2026
г. Москва, ВДНХ,
57 павильон

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СПТОКРАНЫ

СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ



Форум и выставка
15-16 апреля 2026
Магадан, МЦК

Золото Дальнего Востока: стратегии устойчивого развития

отраслевая площадка для выработки согласованных подходов к развитию золотодобычи Дальнего Востока и Магаданской области на среднесрочную перспективу.



Масштабное событие горной отрасли в России

Рудник

официальная поддержка:



27–29 октября 2026
Екатеринбург

11-я международная выставка современных технологий, оборудования и спецтехники для горнодобывающей промышленности

принять участие

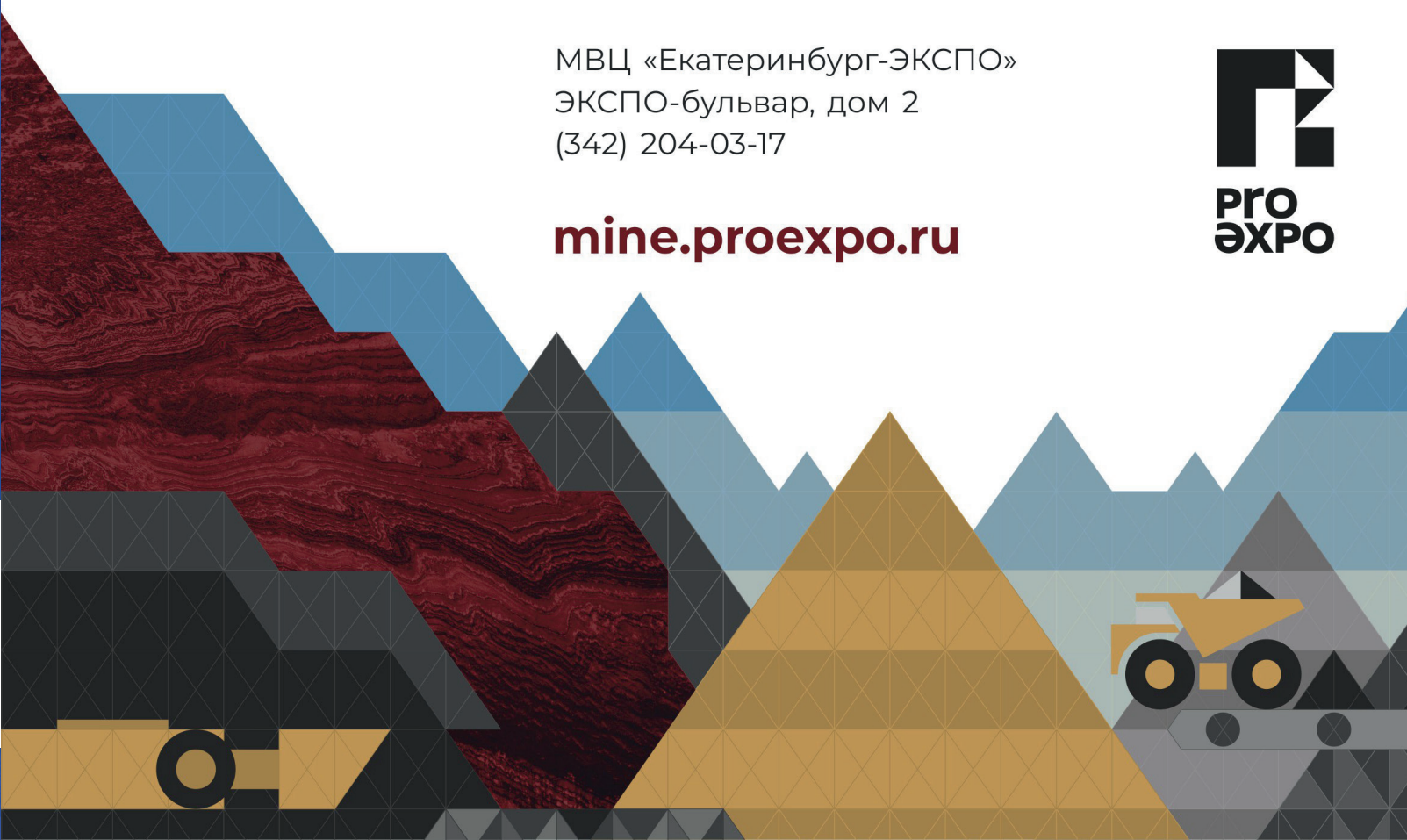


посетить



МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»
ЭКСПО-бульвар, дом 2
(342) 204-03-17

mine.proexpo.ru



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.