

ISSN 2500-0632 (ON-LINE)



# MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY

TOM  
VOL. 5, №4  
2020

(RUSSIA)

GORNYE NAUKI I TEKHNologii  
ГОРНЫЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»  
NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY MISIS



## CONTENTS

### ORIGINAL PAPERS

#### GEOLOGY OF MINERAL DEPOSITS

- About relations between natural gas and oil in connection with forecast of their reserves in Azerbaijan** ..... 288  
A. A. Feizullaev

#### BENEFICIATION AND PROCESSING OF NATURAL AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS

- Collector for copper-arsenic ore flotation**..... 297  
V. I. Ryaboy, E. D. Shepeta

#### EXPERIENCE OF MINING PROJECT IMPLEMENTATION

- Improvement of administrative approaches to subsoil state management in the Republic of Kazakhstan** ..... 307  
R. N. Baimishev
- Justification of category procurement strategy implementation at uranium mining enterprises**..... 318  
B. K. Kosmuratov

#### MINERAL RESOURCES EXPLOITATION

- Substantiation of parameters of mine working drivage with blasting technique and cleaning charges in advance cutting holes**..... 336  
V. I. Lyashenko, O. E. Khomenko, M. N. Kononenko
- On the concept of in-situ metal leaching**..... 349  
O. Z. Gabaraev, A. O. Gabaraeva, N. T. Dedegkaeva, Zh. Bolotbekov

#### POWER ENGINEERING, AUTOMATION, AND ENERGY PERFORMANCE

- Prospects for development of Sadon deposits by in-situ leaching**..... 358  
I. Y. Garifulina, A. H. Abdulkhalimov, I. A. Zaseev, Yu. A. Maystrov

#### POWER ENGINEERING, AUTOMATION, AND ENERGY PERFORMANCE

- Analysis of energy performance of heading sets of equipment at a coal mine** ..... 367  
A. B. Sadridinov



## СОДЕРЖАНИЕ

### ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

#### ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- О соотношении природного газа и нефти в связи с прогнозом их запасов в Азербайджане.....** 288  
А. А. Фейзуллаев

#### ОБОГАЩЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

- Собиранитель для медно-мышьяковистых руд.....** 297  
В. И. Рябой, Е. Д. Шепета

#### ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ

- Совершенствование административных подходов государственного управления недрами Республики Казахстан.....** 307  
Р. Н. Баймишев
- Обоснование внедрения категорийной стратегии закупок на уранодобывающих предприятиях.....** 318  
Б. К. Космуратов

#### РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Обоснование параметров буровзрывной проходки горизонтальных горных выработок с подчищающими зарядами взрывчатых веществ в опережающих скважинах вруба.....** 336  
В. И. Ляшенко, О. Е. Хоменко, М. Н. Кононенко
- К концепции шахтного подземного выщелачивания металлов.....** 349  
О. З. Габараев, А. О. Габараева, Н. Т. Дедегкаева, Ж. Болотбеков
- Перспективы разработки Садонских месторождений подземным выщелачиванием.....** 358  
И. Ю. Гарифулина, А. Г. Абдулхалимов, И. А. Засеев, Ю. А. Майстров

#### ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

- Анализ энергетических показателей работы горнопроходческих комплексов угольной шахты.....** 367  
А. Б. Садридинов



## ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-288-296

**About Relations between Natural Gas and Oil  
in Connection with Forecast of Their Reserves in Azerbaijan**A. A. Feizullaev<sup>SC</sup>

Institute of Geology and Geophysics of National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

**Abstract:** Azerbaijan is one of the oldest oil and gas provinces, where more than 2 bln tons of oil have been extracted over more than a century. At present, the oil production is declining and mainly determined by production from the Azeri-Chirag-Guneshli offshore block (AChG). Compared to oil, the opportunities for further growing natural gas reserves and production are very promising. For the latest years, a number of large gas condensate fields have been discovered in the deep-water part of South Caspian Sea, such as Shakh-Deniz, Apsheron, Umid. There are a number of prospects that have not yet been drilled in this part of the sea basin. The paper assesses their prospectivity, substantiates the priority exploration targets and, on the basis of the statistical analysis of the quantitative gas/oil ratio data for many other Azerbaijanian and world basins, an attempt is made to assess the reserves in the prospects. The total recoverable oil reserves in Azerbaijan are estimated at 3.5 bln tons, of which slightly above 2 bln tons have already been extracted. Based on the statistically estimated ratio between the volumes of gas and oil in various basins of the world, including Azerbaijan, the total possible natural gas reserves in Azerbaijan are estimated at about 4 trillion m<sup>3</sup>. This is in agreement with the other available estimates. Of this volume of natural gas, 0.85 trillion m<sup>3</sup> has already been extracted, and the approved geological reserves are estimated at 2.55 trillion m<sup>3</sup>. Almost 83% of the extracted natural gas belonged to offshore fields. This trend will continue in the future, and, moreover, will be strengthened due to large volumes of gas condensate accumulations in the deep-water part of the basin. In this part of the basin, the most attractive prospects are Mashal, Shafag, and Israfil Huseynov, total reserves of which are expected at 0.6 trillion m<sup>3</sup> of natural gas.

**Keywords:** sedimentary basin, gas, oil, fields, extraction, ratio, reserves, Azerbaijan

**For citation:** Feizullaev A. A. About relations between natural gas and oil in connection with forecast of their reserves in Azerbaijan. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):288-296. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-288-296

**О соотношении природного газа и нефти  
в связи с прогнозом их запасов в Азербайджане**А. А. Фейзуллаев<sup>SC</sup>

Институт геологии и геофизики Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

**Аннотация:** Азербайджан является одной из старейших нефтегазоносных провинций, где за более чем вековой период из недр добыто более 2 млрд т нефти. В настоящее время добыча нефти идет на спад и в основном определяется добычей из морского блока Азери – Чираг – Гюнешли. В сравнении с нефтью перспективы дальнейшего прироста запасов и добычи газа очень высокие. В последние годы в глубоководной части Южного Каспия выявлен ряд крупных газоконденсатных месторождений, таких как Шах-Дениз, Апшерон, Умид. В этой части бассейна имеется ряд еще не разбуренных структур. В связи с этим в статье оценены их перспективы, обоснованы первоочередные поисковые объекты и на основании выполненного статистического анализа количественного соотношения газа и нефти по данным различных бассейнов/стран мира, а также Азербайджана предпринята попытка оценить запасы в них газа. Суммарные извлекаемые запасы нефти в Азербайджане оцениваются в 3,5 млрд т, из которых извлечено чуть более 2 млрд т. Исходя из статистически выявленного соотношения между объемами газа и нефти в различных бассейнах (странах) мира, включая и Азербайджан, прогнозная оценка суммарных запасов газа в Азербайджане составляет около 4 трлн м<sup>3</sup>. Это в целом согласуется с существующими оценками. Из этого объема газа уже добыто 0,85 трлн м<sup>3</sup>, а утвержденные перспективные запасы газа оцениваются в 2,55 трлн м<sup>3</sup>. Почти 83 % газа добыто из морских месторождений. Эта тенденция в будущем не только сохранится, но и будет увеличиваться благодаря введению в разработку крупных газоконденсатных скоплений в глубоководной части бассейна. В этой части бассейна к наиболее перспективным могут быть отнесены структуры Машал, Шафаг и Исафил Гусейнов, суммарные запасы в которых прогнозируются в 0,6 трлн м<sup>3</sup> газа.

**Ключевые слова:** осадочный бассейн, газ, нефть, месторождения, добыча, соотношение, запасы, Азербайджан

**Для цитирования:** Фейзуллаев А. А. О соотношении природного газа и нефти в связи с прогнозом их запасов в Азербайджане. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4):288-296. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-288-296

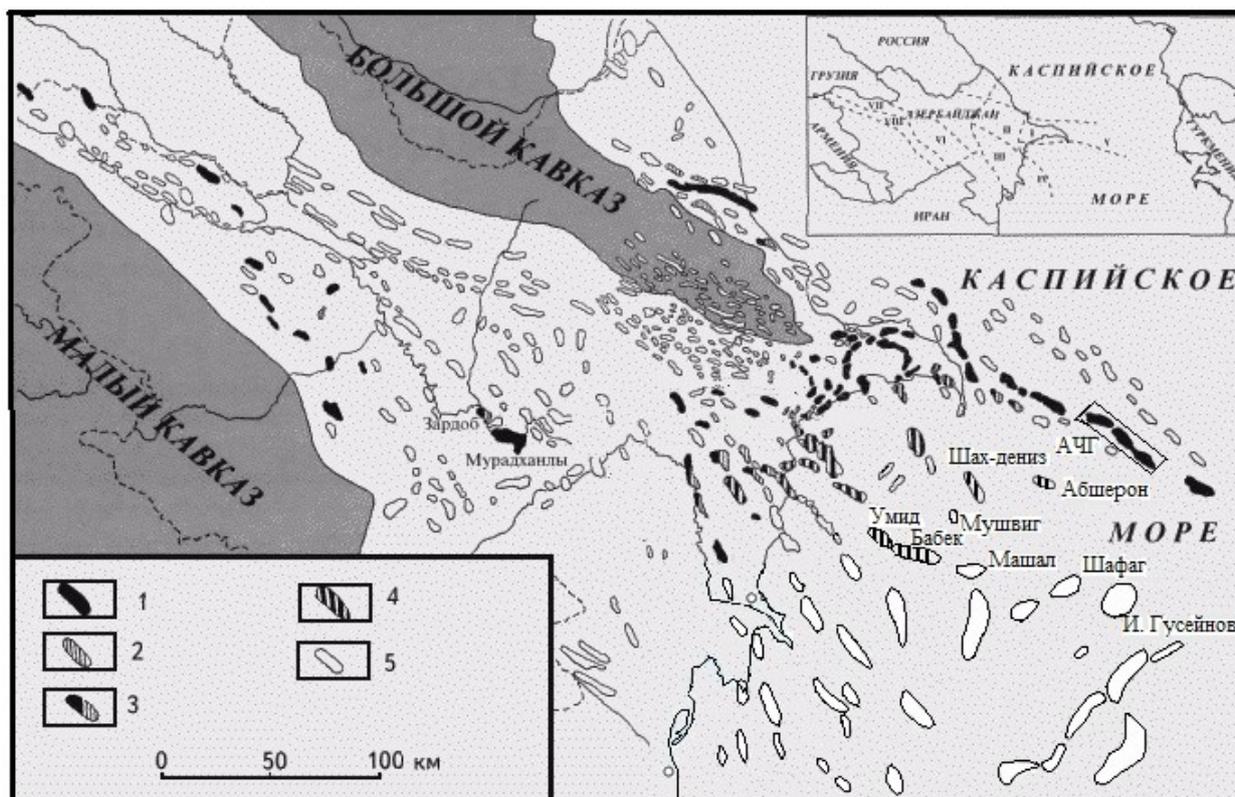
## Introduction

South Caspian Basin (SCB) of Azerbaijan, located within the Alpine-Himalayan tectonic belt, is a typical intermountain basin. Recent structure of the basin is controlled by the ongoing collision of the Arabian and European (Russian) plates.

Recent geological and geophysical studies have revealed some features being characteristic of subduction regimes at the northern boundary of the SCB [1]. The main structural element of this zone is the Apsheron-Pribalkhan uplift zone, located immediately above the frontal part of the subduction zone. The studies showed the most favorable conditions for generation of hydrocarbons

(HC) were in place here [2]. The largest oil and gas accumulations of the SKB continental and offshore parts (Apsheron Peninsula and Apsheron Archipelago) are confined to this sub-latitudinal belt, from which more than 1.5 bln oil have been extracted (about 75% of total oil produced in Azerbaijan) (Fig. 1).

In the early exploration stages within the SKB, in its continental part, oil fields were mainly discovered; therefore Azerbaijan was referred to as an oil province. This was for both objective and subjective reasons.



**Fig. 1. Oil and gas potential of Azerbaijan:**  
1–4 – hydrocarbon deposits; 1 – oil; 2 – gas; 3 – gas and oil;  
4 – gas condensate; 5 – prospects (exploration targets)



*The objective reason* comprises three main factors: 1) the presence of vertical zoning of oil and gas formation; 2) phase redistribution of hydrocarbons in the section caused by the processes of their subvertical-lateral movement; 3) unfavorable preservation conditions and significant losses of the gas component of hydrocarbons in shallow fields subject to intensive degassing. This explains the absence of gas fields in the upper diagenetic gas formation zone. This is typical for almost all sedimentary basins located in mobile tectonic belts. More than 90% of these gases have been lost in this belt. Commercial accumulations of biochemical methane are known only in Italy (in turbidite sediments of the Po river basin) and in Western Siberia, where these gases have been preserved due to the permafrost layer playing the role of a seal.

*The subjective reason* is connected with the lack of data on the zone oil-and-gas potential and the phase state of hydrocarbons (HC) in the deep-water part of the basin at the initial stage of exploration.

However, the results of further prospecting and exploration, as well as widespread introduction of modern geological and geochemical methods for studying organic matter (OM), oil and gas served as the basis for changing ideas about the phase relationship of hydrocarbon resources in the SKB. This was facilitated by:

- discovery of a number of large gas condensate fields, such as Shah Deniz, Apsheron, Umid, with reserves ranging from several hundred bln to more than a trillion cubic meters in the deep-seated part of the SKB;

- identification of qualitative characteristics of the OM of the parent Oligocene-Miocene rocks capable of generating, along with oil, significant volumes of gaseous hydrocarbons (about 70% of the total generation);

- widespread development of mud volcanoes in the SKB, which permanently carry large volumes of gases to the surface during periods of both gryphon activity and paroxysm.

By now, Azerbaijan has turned from an oil supplier only into a major supplier of natural gas to foreign markets. The peak of oil production in Azerbaijan was recorded in 2010 at 51 million t. Then, up to now, natural decline in the oil production takes place. Further increasing the HC reserves is expected in connection with discovery of mainly gas condensate fields in the central, deep-seated part of the basin [3]. In this regard, the issue of predicting gas reserves in the SKB is of exceptional interest.

### Research Methods

To date, in the world, there are a huge number of classifications of oil and gas reserves and resources. In fact, each oil-producing country has its own classification, but there are also generally recognized world classifications and methods for estimating oil and gas reserves, which are used in many countries [4].

Depending on the exploration maturity and availability of the necessary data, different approaches and methods for estimating hydrocarbon resources and reserves are used:

**Analogy method.** It is based on the assumption that the reservoir under consideration is comparable with the analogous reservoir in terms of poroperm properties and fluid properties, which determine the volumes of ultimate recoverable reserves.

**Volumetric method.** It is based on using data on reservoir poroperm properties and fluid properties for estimation of initial geological reserves and then determining their recoverable part for a specific development project. This method is used in early exploration stages.

**Material balance method.** It is based on analyzing a reservoir pressure changes while extracting HC from it. This method is applied in the intermediate exploration stages.

**Performance analysis method.** It is based on the analysis of the rate of extraction and phase composition of the extracted HCs depending on the time and the amount of accumulated extraction as the reservoir is depleted. The method is applied at the end of the field's life, when most of the oil and gas has already been extracted, and the field's production rate is declining.

Of the above methods, the volumetric one is the most commonly used.

This study provides an assessment of the possible recoverable natural gas reserves in Azerbaijan based on statistical analysis of the ratio of proven reserves and production of natural gas and oil in 30 countries. In addition, the results of statistical analysis of the primary values of gas/oil ratio (GOR, the ratio of gas and oil production volumes) in Azerbaijani gas field for 54 continental and offshore fields (754 data points in total) are used.

Although this statistical method cannot claim universality, it may well be applied in the conditions of Azerbaijan. This is due to the fact that one of the parameters (oil reserves) is quite reasonable and predictable in comparison with another parameter (gas reserves). In the future, there are no convincing prerequisites for discovery of new commercial oil reserves, and further prospects for increasing hydrocarbon reserves in

Azerbaijan are connected with discovery of exclusively gas (gas condensate) fields in the SKB deep-water part.

### Research Findings

#### *Existing estimates of recoverable oil reserves in SKB*

The first well in Azerbaijan with a depth of 21 m was drilled for oil production in 1846 at the Bibiheybat area near Baku, and in 2017 the total amount of oil production in Azerbaijan exceeded 2 bln tons. The first bln t of oil was extracted for 125 years (by 1971), whereas the second one, for 46 years.

Current estimates of recoverable oil reserves in Azerbaijan are shown in Table 1.

As follows from the table, total recoverable oil reserves in Azerbaijan are estimated at 3-4 bln tons. However, when determining the fairest value of the total oil reserves, a number of facts must be taken into account. Firstly, for more than a century of exploitation, slightly above 2 bln tons oil have been extracted from more than 70 fields. Secondly, at present, almost all oil fields in the region are at late stage of development and highly depleted, with the only exception of the Azeri-Chirag-Guneshli (AChG) mega-block, where oil reserves are predicted to be between 511 and 923 million tons [9]. Considering that this block provides 91–93% of the country's oil [9, 10], the possible, not yet discovered oil/gas condensate reserves in Azerbaijan as a whole can be assumed to be about 1.5 bln tons.

**Table 1**

**Current estimates of oil reserves in Azerbaijan**

Recoverable oil reserves, bln tons	Source
4.1	[5]
4.05	[6]
4.04	[7]
3	[8]
$2 + 1.2^* = 3.2^{**}$	[9]

\*including estimated AChG oil reserves

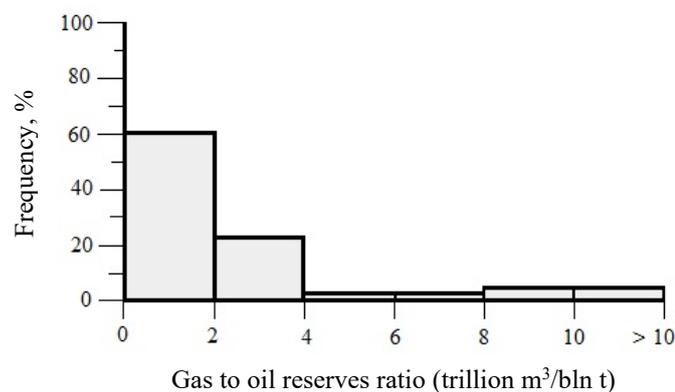
\*\*author's estimate (produced + possible reserves)

According to Khoshbakht Yusifzade, first vice-president of the State Oil Company of Azerbaijan (SOCAR), in Azerbaijan, the updated recoverable oil and gas condensate reserves are estimated at 1.5 bln tons [11], and taking into account the already extracted 2 bln tons of oil/gas condensate, the total initially available reserves are estimated at 3.5 bln t.

Thus, the volume of the initially available recoverable oil reserves in Azerbaijan at 3.5 bln tons can be taken as the most reasonable.

#### ***About relations between natural gas and oil volumes***

*Analysis of data for different basins (countries).* Fig. 2 presents a histogram of proved gas to oil reserves ratio distribution for 30 countries, drawn up based on BP data [12] (excluding countries with large gas resources).

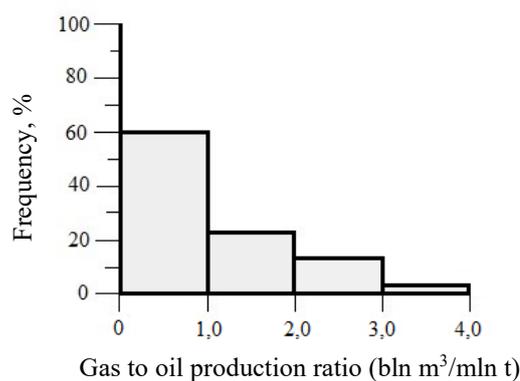


**Fig. 2. Histogram of proved gas to oil reserves ratio distribution (2014 [12]) in 30 countries**

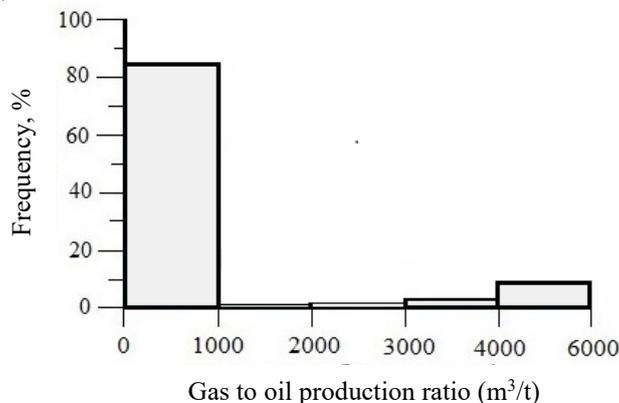
According to the presented histogram, in slightly more than 60% of cases, the ratio do not exceed 2 trillion m<sup>3</sup> of gas per 1 bln tons of oil, and the average ratio is about 1.2 trillion m<sup>3</sup> of gas per 1 bln tons of oil.

The analysis of the gas to oil production ratio calculated based on the 2016 data for 35 countries [13] is illustrated in Fig. 3, which presents the histogram of the ratio distribution. The average value of the ratio is 1.1 bln m<sup>3</sup>/1 million tons (1.1 trillion m<sup>3</sup>/1 bln tons).

Analysis of GOR data for the SKB fields. Compilation and analysis of GOR data for fields in Azerbaijan based large statistically significant data array showed its values ranging 2.5–80,000.0 m<sup>3</sup>/t (1,457 m<sup>3</sup>/t on average). Histogram of GOR values distribution is shown in Fig. 4.



**Fig. 3. Histogram of gas to oil production ratio distribution (2016) in 35 countries**



**Fig. 4. Histogram of GOR distribution for the fields of Azerbaijan**

The revealed interval of the GOR values variations is typical for both oil and oil-gas, and gas condensate fields [14–16]. In this regard, GOR can serve as a criterion for assessing the phase state of hydrocarbon accumulations and the patterns of its spacial changes.

In the SKB, GOR increases from the side parts towards the deep-water part (Fig. 5). This is in good agreement with changing the HC phase state in this direction, which is manifested by successive change from oil fields to oil-and-gas and gas condensate ones.

High gas saturation of liquid hydrocarbons in the offshore part of the basin provides their relatively lower density (less than  $880 \text{ kg/m}^3$ ) in comparison with the continental fields (Fig. 6).

According to the exploration findings, the central deep-water part of the basin is exclusively gas-bearing, with gas condensate and no oil. Under the temperature and pressure conditions in this part of the basin, in addition to gas condensate, also light, so-called "volatile" oils can be found.

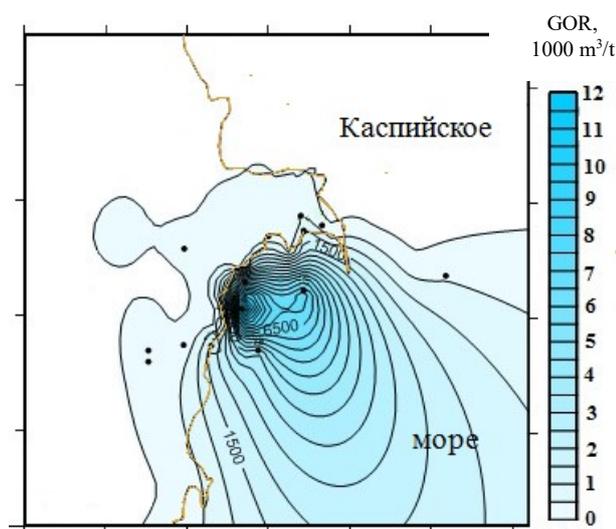
Estimation of possible gas reserves in Azerbaijan. All estimations of the possible gas reserves in the SKB based on the ratio of gas and oil

(for the proved reserves and the produced volumes of gas and oil in various countries, as well as the GOR values for the SKB fields) were carried out on the basis of the accepted value of the total recoverable oil reserves in Azerbaijan of 3.5 bln tons.

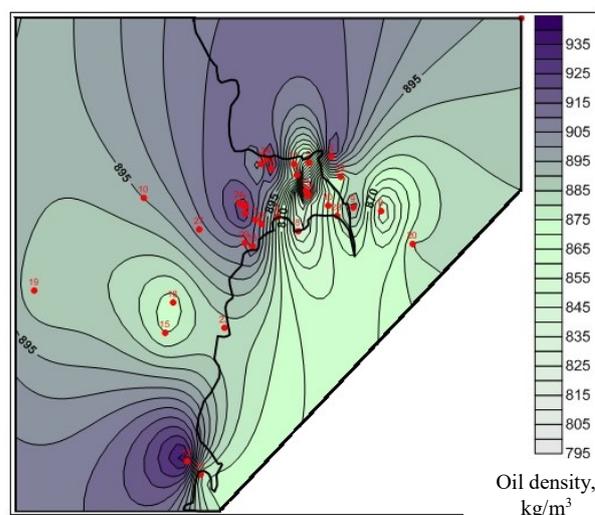
Taking into account the average value of the proved gas to oil reserves ratio calculated based on the data of 30 countries, the possible gas reserves in Azerbaijan can be estimated as follows: 3.5 bln tons of oil  $\times$  1.2 trillion  $\text{m}^3/\text{bln tons} = 4.2$  trillion  $\text{m}^3$ . This is graphically presented in Fig. 7.

Taking into account the average value of the gas to oil production ratio (1.1 trillion  $\text{m}^3/\text{bln tons}$ ) in 2016 calculated based on the data of 35 countries, the possible gas reserves in Azerbaijan can be estimated as follows: 3.5 bln tons of oil  $\times$  1.1 trillion  $\text{m}^3/\text{bln tons} = 3.9$  trillion  $\text{m}^3$ .

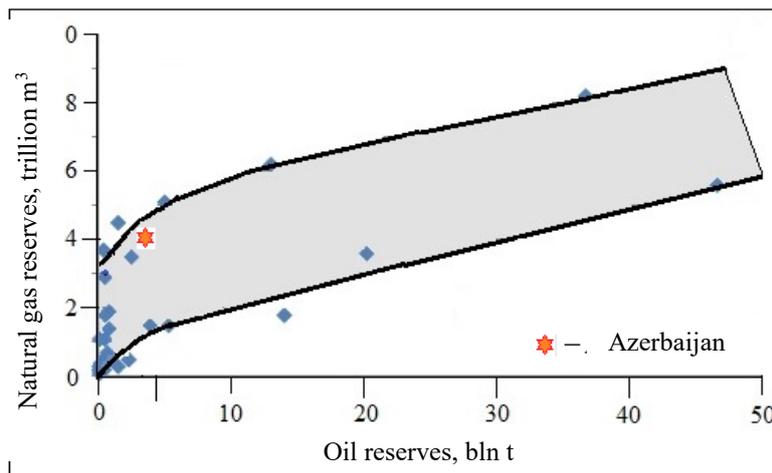
The value of possible gas reserves, estimated taking into account the average GOR of  $1,082 \text{ m}^3/\text{t}$ , estimated for 54 fields in Azerbaijan, is  $3.5 \times 1,082 = 3.8$  trillion  $\text{m}^3$ .



**Fig. 5.** Distribution of the average GOR values in the productive strata (Lower Pliocene) over the area (to exclude the influence of the preservation conditions on the average values, the data for depths below 2 km only were used)



**Fig. 6.** Spatial regularities of liquid hydrocarbon density variations in the SCB



**Fig. 7. Relationship between proved oil and gas reserves in various countries and predictive estimate for Azerbaijan**

Thus, total recoverable gas reserves in Azerbaijan, estimated based on three different indicators of the gas to oil ratio, can be accepted at about 4 trillion  $\text{m}^3$ , including the already extracted 0.85 trillion  $\text{m}^3$  of gas [17].

According to the existing official estimates, in Azerbaijan, possible not yet extracted gas reserves are estimated at 2.55 trillion  $\text{m}^3$  [11, 6]. These reserves mainly belong to such already discovered fields as Shakh Deniz, Umid, Apsheron, the AChG block and the Babek prospect. Proved gas reserves for these fields amount to 1.2, 0.2; 0.35; 0.35, and 0.4 trillion  $\text{m}^3$ , respectively (a total of 2.5 trillion  $\text{m}^3$ ) [10].

Thus, the official estimate does not take into account the prospects of discovering new gas condensate accumulations in the SKB deep-water part. The volume of the unaccounted possible gas reserves, according to our estimations, may be about 0.6 trillion  $\text{m}^3$ : 4 trillion  $\text{m}^3$  (the estimated total reserves) – 0.85 trillion  $\text{m}^3$  (the already extracted volume) – 2.55 trillion  $\text{m}^3$  (the approved proved gas reserves) = **0.6 trillion  $\text{m}^3$** .

Such a volume of natural gas, depending on the size of the structure, can correspond to gas reserves of some two or three prospects. Based on the modern tectonic-geophysical model of the oil-

and-gas potential of the South Caspian Basin (SCB) [2], most likely, Mushvig, Mashal, Shafag, and Israfil Huseynov structures can be among such prospects (see Fig. 1). However, it should be noted that although the Mushvig structure is the most promising, it is most likely to be classified as unprofitable due to its small dimensions.

### Conclusion

Total recoverable oil reserves in Azerbaijan are estimated at 3.5 bln tons, of which slightly above 2 bln tons have been extracted. Based on the statistically estimated ratio between the volumes of gas and oil in various basins of the world, including Azerbaijan, the predictive estimate of the total natural gas reserves in Azerbaijan was estimated at about 4 trillion  $\text{m}^3$ . This is in agreement with the other available estimates. Of this volume of natural gas, 0.85 trillion  $\text{m}^3$  has already been extracted; the approved geological reserves are estimated at 2.55 trillion  $\text{m}^3$ .

Almost 83% of the extracted natural gas came from offshore fields. This trend will continue in the future, and will be even strengthened due to large volumes of gas condensate accumulations in the deep-water part of the basin. In this part of the basin, the most attractive prospects are Mashal, Shafag, and Israfil Huseynov, total reserves of which are expected at 0.6 trillion  $\text{m}^3$  of natural gas.



## References

1. Kadirov F., Floyd M., Alizadeh A., Guliev I., Reilinger R., Kuleli S., King R., Nafi Toksoz M. Kinematics of the eastern Caucasus near Baku, Azerbaijan. *Nat. Hazards*. 2012;(3):1-10.
2. Feyzullayev A. A., Kadirov F. A., Kadyrov A. G. Tectono-Geophysical Model of the Southern Caspian in the Context of the Presence of Oil and Gas. *Physics of the Solid Earth*. 2016;52(6):913-923.
3. Feyzullayev A. A. Generation and phase state of hydrocarbons at great depths. In: *1st International Conference "Ultra deep hydrocarbon potential: future energy resources – reality and prediction"*. June, Baku, Azerbaijan. 2012. P. 32-34.
4. Rasheed R., Kulkarni A. Reserve Estimation Using Volumetric Method. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2016;3(10):1225-1229.
5. How much oil and gas in the Caspian? *Biznesinfo.az*. URL: <http://www.biznesinfo.org/observer/dossier/params/ln/ru/article/94442/> (In Russ.)
6. The volume of oil and gas reserves of Azerbaijan has been announced. *Gazeta Respublika = Newspaper Respublika*. URL: [http://www.vesti.az/ekonomika/ob\\_yavlen-ob\\_em-neftegazovykh-zapasov-azerbajdzhana-351182](http://www.vesti.az/ekonomika/ob_yavlen-ob_em-neftegazovykh-zapasov-azerbajdzhana-351182) (In Russ.)
7. Guseynov E. *Oil reserves in Azerbaijan amount to 15 bln barrels*. 2007. URL: <http://www.day.az/news/economy/95649.html> [In Russ.]
8. Dikarev A. Strategy of Continental Shelf Energy Resources Development. *Politiya*. 2010;(1):60-73. (In Russ.)
9. Tyurin A. Status of oil and gas exploration in the Azerbaijani sector of Caspian Sea. URL: <http://www.kavkazoved.info/news/2015/03/25/> (In Russ.)
10. Israfilbayova S. Azerbaijan reduces oil, natural gas production. *AZERNEWS*. 23 January 2018. URL: [https://www.azernews.az/oil\\_and\\_gas/125939.html](https://www.azernews.az/oil_and_gas/125939.html).
11. State Oil Company of Azerbaijan disclosed oil and gas reserves in the country. *Praym = Prime*. URL: <https://news.rambler.ru/business/38820646> (In Russ.)
12. *BP Statistical Review of World Energy*. June 2014. 45 p.
13. *BP Statistical Review of World Energy*. June 2017. 66th edition. 49 p.
14. Shurupov S. V., Belousova A. S. Estimation of associated petroleum gas resources in oil production in Russia. *Gazokhimiya = Gasgeochemistry*. 2010. P. 70–74. (In Russ.)
15. Kaiser M. J. and Yunke Yu. Gulf Coast economic limits-1: Economic limits estimated for US Gulf Coastal fields. *Oil and Gas Journal*. 2010;108(20):47–54.
16. Maclay D. M., Shepard N. K., Zeringue B. A. *Estimated Oil and Gas Reserves Gulf of Mexico*. OCS Report BOEM 2013-01160. U.S. Department of the Interior Bureau of Ocean Energy Management Gulf of Mexico OCS Region. New Orleans; July 2013. 23 p.
17. *Illik hesabat. SOCAR*. Baku, Azerbaijan; 2017. 200 p.

## Библиографический список

1. Kadirov F., Floyd M., Alizadeh A., Guliev I., Reilinger R., Kuleli S., King R., Nafi Toksoz M. Kinematics of the eastern Caucasus near Baku, Azerbaijan. *Nat. Hazards*. 2012;(3):1-10.
2. Feyzullayev A. A., Kadirov F. A., Kadyrov A. G. Tectono-Geophysical Model of the Southern Caspian in the Context of the Presence of Oil and Gas. *Physics of the Solid Earth*. 2016;52(6):913-923.
3. Feyzullayev A. A. Generation and phase state of hydrocarbons at great depths. In: *1st International Conference "Ultra deep hydrocarbon potential: future energy resources – reality and prediction"*. June, Baku, Azerbaijan. 2012. P. 32-34.
4. Rasheed R., Kulkarni A. Reserve Estimation Using Volumetric Method. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2016;3(10):1225-1229.
5. Сколько нефти и газа на Каспии? *Biznesinfo.az*. URL: <http://www.biznesinfo.org/observer/dossier/params/ln/ru/article/94442/>
6. Объявлен объем нефтегазовых запасов Азербайджана. *Gazeta Respublika = Newspaper Respublika*. URL: [http://www.vesti.az/ekonomika/ob\\_yavlen-ob\\_em-neftegazovykh-zapasov-azerbajdzhana-351182](http://www.vesti.az/ekonomika/ob_yavlen-ob_em-neftegazovykh-zapasov-azerbajdzhana-351182)
7. Гусейнов Е. Запасы нефти в Азербайджане составляют 15 миллиардов баррелей. URL: <http://www.day.az/news/economy/95649.html>
8. Дикарев А. Стратегия освоения энергетических ресурсов шельфа Мирового океана. *Politiya = Politiya*. 2010;(1):60-73.
9. Тюрин А. Состояние работ на нефть и газ в Азербайджанском секторе Каспия. URL: <http://www.kavkazoved.info/news/2015/03/25/>



10. Israfilbayova S. Azerbaijan reduces oil, natural gas production. *AZERNEWS*. 23 January 2018. URL: [https://www.azernews.az/oil\\_and\\_gas/125939.html](https://www.azernews.az/oil_and_gas/125939.html)
11. Госнефтекомпания Азербайджана обнародовала запасы нефти и газа в стране. *Praym = Prime*. URL: <https://news.rambler.ru/business/38820646>
12. *BP Statistical Review of World Energy*. June 2014. 45 p.
13. *BP Statistical Review of World Energy*. June 2017. 66th edition. 49 p.
14. Шурупов С. В., Белоусова А. С. Оценка ресурса попутного нефтяного газа при добыче нефти в России. *Газохимия*. 2010. Январь-февраль. Р. 70–74.
15. Kaiser M. J. and Yunke Yu. Gulf Coast economic limits-1: Economic limits estimated for US Gulf Coastal fields. *Oil and Gas Journal*. 2010;108(20):47–54.
16. Maclay D. M., Shepard N. K., Zeringue B. A. *Estimated Oil and Gas Reserves Gulf of Mexico*. OCS Report BOEM 2013-01160. U.S. Department of the Interior Bureau of Ocean Energy Management Gulf of Mexico OCS Region. New Orleans; July 2013. 23 p.
17. *Illik hesabat. SOCAR*. Baku, Azerbaijan; 2017. 200 p.



## ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-297-306

**Collector for Copper-Arsenic Ore Flotation**V. I. Ryaboy<sup>1</sup>, E. D. Shepeta<sup>2</sup><sup>1</sup>LLC "Mechanobr-OR", St. Petersburg, Russia<sup>2</sup>Institution of Science of the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (KhFRTs FEB RAS), Khabarovsk, Russia

**Abstract:** Copper and scheelite concentrates are produced from scheelite-sulfide ores of the Vostok-2 deposit at the Primorsky processing plant. Chalcopyrite, gold, silver, and harmful impurities (arsenopyrite, pyrrhotite) are extracted into the copper concentrate. As a collector, dialkyldithiophosphate-type IMA-I413p reagent is used. Bulk sulfide concentrate is produced using activated carbon and trisodium phosphate; copper cleaner flotation is carried out in the medium of ferrous sulfate. The commercial copper concentrate contains 16 % copper, 33 g/t gold, and 280 g/t silver. The recovery of the metals is 67.6, 44.7, and 50.1 %, respectively. The weight fraction of arsenic in the ore fluctuates in the range of 0.04–0.25%, and that in the concentrate, 0.7–2.3 %. The enterprise looks for ways to increase recovery of the valuable metals and decrease content of arsenic in the copper concentrate to below 1% at the expense of increasing contrast in the separation of chalcopyrite from iron sulfides/arsenopyrite/pyrrhotite. For solving this problem, we performed a study of flotation properties of sulfide collectors based on dialkyldithiophosphates: BTF-15221, BTF -271, non-ionic collector Reaflot-277, and combinations of Reaflot-277 and IMA-I413p. Applying BTF-15221 collector allowed, as compared to the standard IMA-I413p reagent, to increase recovery of copper, gold, and silver and reduce arsenic content in the copper concentrate. The higher selectivity of BTF-15221 as compared to IMA-I413p was confirmed by the fact that the bulk of the increase in copper recovery and decrease in the weight fraction of arsenic in the copper concentrate was achieved in the selective cycle. Besides, during the study, surface activity and hydrophobizing ability of the water-soluble collectors were assessed. Using the example of BTF-15221, it was shown that improvement of the reagent collecting properties can be achieved not only due to increasing the surface activity of the reagent, but also at its decrease – in case of sufficient hydrophobizing ability of the reagent, close to that of the standard reagent. By adjusting these parameters through the use of low-molecular weight homologues of the main components, it is feasible to increase or decrease the selectivity and collecting ability of the reagent. Collector BTF-15221 is of practical interest for further testing in flotation of copper-arsenic and other ore types.

**Keywords:** copper-arsenic ores, dialkyldithiophosphate collector, hydrophobizing ability of water-soluble collectors, surface activity, flotation

**For citation:** Ryaboy V. I., Shepeta E. D. Collector for copper-arsenic ore flotation. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):297-306. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-297-306

**Собиратель для медно-мышьяковистых руд**В. И. Рябой<sup>1</sup>, Е. Д. Шепета<sup>2</sup><sup>1</sup>ООО «Механобр-ОР», г. Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН), г. Хабаровск, Россия

**Аннотация:** Из скарновой шеелит-сульфидной руды месторождения Восток-2 на Приморской обогатительной фабрике выделяют медный и шеелитовый концентраты. В медный концентрат извлекаются халькопирит, золото, серебро и вредные примеси арсенопирит, пирротин. В качестве собирателя используют реагент диалкилдитиофосфатного типа ИМА-И413п. Селекцию коллективного сульфидного концентрата осуществляют с применением активированного угля и тринатрийфосфата, медные перемешки проводят в среде железного купороса. Товарный медный концентрат содержит 16 % меди, 33 г/т золота и 280 г/т серебра. Извлечение металлов составляет соответственно 67,6, 44,7 и 50,1 %. Массовая доля мышьяка в руде колеблется в интервале 0,04–0,25 %, в концентрате 0,7–2,3 %. Для предприятия является актуальным повышение извлечения ценных металлов и снижение содержания мышьяка в медном концентрате менее 1 % за счет усиления контрастности разделения халькопирита и сульфидов железа арсенопирита, пирротина.



В целях решения указанных задач были изучены флотационные свойства сульфидных собирателей на основе диалкилдитиофосфатов БТФ-15221, БТФ-271, неионогенного собирателя Реафлот-277 и комбинации Реафлот-277 и ИМА-И413п. Применение собирателя БТФ-15221 по сравнению со стандартным реагентом ИМА-И413п позволяет повысить извлечение меди, золота и серебра и снизить содержание мышьяка в медном концентрате. Более высокую селективность действия БТФ-15221 по сравнению с ИМА-И413п подтверждает факт, что основной прирост извлечения меди и снижение массовой доли мышьяка в медном концентрате получен в селективном цикле. В работе выполнена оценка поверхностной активности и гидрофобизирующей способности водорастворимых собирателей. На примере БТФ-15221 показано, что улучшение собирательных свойств реагентов может быть достигнуто не только при повышении поверхностной активности реагента, но и ее снижении при достаточно заметной гидрофобизирующей способности реагента, близкой к стандартному реагенту. Регулированием этих параметров за счет использования низко- и более высокомолекулярных гомологов основных компонентов можно повысить или понизить селективность и собирательную способность реагента. Собиратель БТФ-15221 представляет практический интерес для дальнейших испытаний на медно-мышьяковистых и других типах руд.

**Ключевые слова:** медно-мышьяковистые руды, гидрофобизирующая способность водо-растворимых собирателей, поверхностная активность, флотация

**Для цитирования:** Рябой В. И., Шепета Е. Д. Собиратель для медно-мышьяковистых руд. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4):297-306. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-297-306

## 1. Introduction

Skarn scheelite-sulfide ore of the Vostok-2 deposit belongs to complex ores. Along with the main scheelite concentrate, the Primorsky Processing Plant (PPP) produces copper concentrate, in which copper and precious metals (gold and silver) are concentrated. At present, at PPP, the task is to increase the recovery of valuable minerals through increasing the degree of separation of sulfide minerals in the bulk flotation cycle and depress arsenopyrite in the selection flotation cycle. This enables increasing output of standard copper concentrate with weight fraction of Cu of 16 %, and that of As of  $\leq 1.0$  %.

This can be achieved, first of all, through both selecting known and creating new more effective reagents on the basis of the existing theory and practice of reagents application, presented in [1–5, 6–13] and other publications.

Here are the main indicators of PPP performance for 2020: weight fraction in ore: Cu – 0.21 %, Au – 0.59 ppm, Ag – 3.7 g/t; weight fraction in copper concentrate – 16.3 %, 33.0 g/t, 280 g/t, recovery – 67.6, 44.7, 50.1 %, respectively. Average weight fraction of arsenic in the current ores is 0.10%, its fluctuation range is

0.04–0.25 %. In the copper concentrate, the range is 0.70–2.32 %.

For testing collecting properties of a new group of reagents, scheelite-chalcopyrite-pyrrhotite ore with the following weight fractions of the main components was selected:  $WO_3$  – 0.65 %, Cu – 0.22 %, Au – 1.6 g/t, Ag – 1.16 g/t, As – 0.007 %, S – 4.9 %.

Earlier, the authors, when selecting collectors from the class of water-soluble compounds based on dialkyldithiophosphates for flotation of copper-arsenic ores, used the concept of the effect of surface activity and hydrophobizing ability of a reagent on flotation properties [14, 17], which was later used to create a collector for flotation of silver-containing ores [17]. The presented study develops this line with the use of new water-soluble collectors based on dialkyldithiophosphates. High performance in copper recovery (at practically the same arsenic content in concentrate) was achieved through using a composition of water-soluble reagents based on dialkyldiophosphates and reagents with thioamide groups [15].

This led to the choice of the following group of collectors for the new research: BTF-15221, which, according to data of Mekhanobr-OR LLC

and Kvadrat Plus, showed positive results in flotation of a number of copper and gold ores; BTF-271, which is an analogue of the IMA-I413 used, and Reaflot-277 as a nonionic collector, which demonstrated positive results in previous tests.

## 2. Research Materials and Methods

*Method for determining hydrophobizing ability of water-soluble collectors.* Determination of hydrophobizing ability (h.a.) of water-soluble collectors was performed according to a refined method in comparison with that previously presented in [17].

Initial solution concentrations: 2% aqueous solution of dialkyldithiophosphate collector, pH 10.5, which was measured by a pH meter, 0.2 N zinc sulfate solution, 0.1 N sodium hydroxide solution, 0.1 N Trilon B solution and ammonia buffer solution.

Assay method: 10 ml of the dialkyldithiophosphate solution were added with 10 ml of the zinc sulfate solution to produce zinc dialkyldithiophosphate, which precipitates as a sediment or a paste-like product; then 3 g of sodium chloride (100 % activity) were added, and stirred with a glass rod until the salt dissolved. The suspension was allowed to settle for 1–2 h. After that, it was filtered through a fluted paper filter (Blue ribbon). Then ½ part of the solution was taken, added with 5 ml of the ammonia buffer solution, and titrated

with the Trilon solution in the presence of the eriochrome black indicator until the pink color turned blue. Calculation of h.a. was carried out according to the formula given in [17].

*Laboratory research for the ore and the plant products.* The assessment of flotation properties of the collectors was carried out using the samples of the sulfide flotation plant feed and using ore (tailings of core samples of metallurgical mapping program) prepared under laboratory conditions (crushing to 2 mm, grinding to  $P_{80}$  (80%) of  $-80+0 \mu\text{m}$ ). At the same time, the amount (share) of sludge grain size fractions in the ore was approximately equal to that in the sulfide flotation plant feed. Grain-size distribution of the flotation feed (the ore ground in the laboratory) ore is presented in Table 1.

It should be noted that, in contrast to the laboratory conditions, in the processing plant's feed (under commercial conditions), at the same sludge portion, the portion of coarse categories of  $+160 \mu\text{m}$  increases significantly: from 1.76 % (lab conditions) to 18.9% (commercial conditions), and content of the components of interest also increases: Cu – up to 4.4 %, As – up to 12.1 %, S – up to 8.0 % due to redistribution from medium size categories of  $-80+15 \mu\text{m}$ . This should be taken into account when predicting the processing results under commercial conditions.

Table 1

Distribution of the main elements in the sulfide flotation feed by size categories  
(for the ore ground in the laboratory)

Size category, $\mu\text{m}$	Yield, %	Weight fraction, %			Recovery, %		
		Cu	As	S	Cu	Cu	As
<i>Sulfide flotation feed (ore ground in the laboratory)</i>							
+250	0.76	0.15	0.009	5.56	0.53	1.03	0.86
-250+160	1.00	0.10	0.008	2.93	0.47	1.21	0.60
Total: +160	1.76	0.12	0.008	4.07	1.00	2.24	1.45
-160+80	18.21	0.16	0.008	4.17	13.67	22.00	15.42
-80+15	58.54	0.23	0.006	5.89	63.15	53.04	70.03
-15+0	21.49	0.22	0.060	3.00	22.18	22.72	13.09
Total: -80+0	80.03	0.23	0.007	5.11	85.33	75.76	83.12
Ore	100.00	0.21	0.007	4.92	100	100	100



In the +80  $\mu\text{m}$  size categories, the presence of intergrowths of chalcopyrite with quartz and pyrrhotite was observed, while with decreasing grain size, the proportion of the intergrowths decreased, the intergrowths become smaller, they were closed and complex, including association of several minerals: quartz-pyrrhotite-chalcopyrite. In the -80  $\mu\text{m}$  size categories, the intergrowths are absent.

The testing process for these collectors included: 1) bulk flotation cycle: rougher sulfide flotation and scavenging sulfide flotation ( $t = 10$  min), cleaner flotation of the bulk sulfide concentrate ( $t = 5$  min); 2) copper cycle: rougher copper flotation and scavenging copper flotation ( $t = 10$  min), and two copper concentrate cleaner flotation stages ( $t = 10$  min). The volume of cells of the flotation machines was 1.0-0.5-(0.3; 0.2; 0.1) L. The cell volume in the cleaner flotation depended on the yield of the bulk sulfide concentrate. In the tests, weight of samples in the open cycle ranged from 0.5 to 1.0 kg; in the closed cycle, 6 one-kilogram samples was used, and the calculation was performed based on the results for the latest three samples.

The tests were carried out using tap water (pH 6.8) and process water (pH 8.6, suspension of 5.3–7.7 g/l). Ionic composition of the process water, mg/l: sulfate ions – 800, copper cations – 0.06, zinc – 0.022, molybdenum – 0.003, arsenic – 0.02, tungsten – 0.004, silicon – 3.0, iron – 30.

The reagent test mode: liquid glass (100+50) g/t (rougher flotation and cleaner flotation – for reducing the losses of scheelite with sulfides; agitation of the pulp with the reagent ( $t_{ag} = 2$  min), variable sulfide collector (15(45)+5(15)) g/t in the rougher and scavenging flotation ( $t_{ag} = 0.5$  min), pine oil to the rougher flotation of 10 g/t ( $t_{ag} = 1$  min). Separation (selective flotation) of the bulk concentrates: activated carbon (C) – 50–100 g/t ( $t_{ag} = 10$  min), trisodium

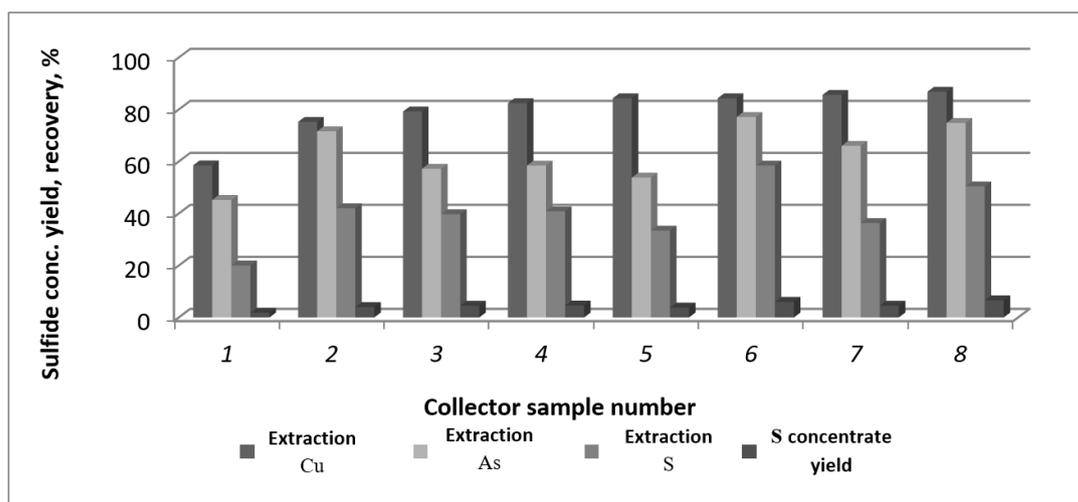
phosphate (TSP) – (50+25) g/t (rougher flotation and 1st cleaner flotation,  $t_{ag} = 5$  min). For the plant products, to enhance arsenic depression, copper cleaner flotations were carried out in ferrous sulfate medium, at the pulp pH 7.3–6.5. The initial pH of the pulp of the rougher copper flotation and cleaner copper flotation stages was about 8.0–8.8.

It should be noted that according to the PPP process balance data, at the standard beneficiation process based on the mixture of reagents IMA-I413p+Kkh<sub>but</sub>, 60 % of the chalcopyrite losses belong to the bulk flotation cycle tailings, (weight fraction of Cu of 0.036 %) and 40 % to the copper selective flotation tailings (weight fraction of Cu of 0.75 %). In terms of grain size, 10 % of the total copper losses belong to losses with the coarse size category of +160  $\mu\text{m}$ , 40 % to the category of -160+15  $\mu\text{m}$ , and 50 % to the sludge size category of -15  $\mu\text{m}$ . Arsenic is almost completely depressed into the sludge, and the rest (+15  $\mu\text{m}$ ) passes into the copper concentrate.

The use of the combination of IMA-I413p and Kkh<sub>but</sub> leads to increasing the extraction of chalcopyrite by 1–2 % relative to the use of dialkyldithiophosphate, but at the same time the flotation activity of arsenopyrite increases. In cleaner flotation under commercial conditions, reduced pulp levels in a flotation machine are used, which promote reducing arsenic content in the concentrate, but significantly increases its amount in the selective cycle feed. All this necessitates the search for new collectors, combining high collection activity for copper and selectivity for arsenopyrite.

### 3. Findings of flotation tests

At the first testing stage, the tests with PPP feed were carried out with process water (with suspension of 5.3 g/l) up to obtaining sulfide concentrates, using all samples scheduled for testing. Weight fraction of the main components in the flotation feed, %: Cu – 0.24, As – 0.08, S – 3.14. Fig. 1 shows the best results from the test series for determining the optimal consumption for each collector.



**Fig. 1.** Diagram of the yield of the bulk concentrate and the extraction of copper, arsenic, and sulfur into the concentrate for the tested samples of sulfide collectors, g/t:

1 – sample 275 (200+80); 2 – sample 276 (200+80); 3 – IMA-I413p (45+5); 4 – sample 277 + IMA-I413p (40+10, ratio of 1:1); 5 - sample 277 (45+5); 6 – Kh<sub>but</sub> (60+20); 7 – BTF-15221 (35+5) ; 8 – BTF-271 (45+5)

With sulfide concentrate yield of 3.8–4.6 % for sample 277 and the combination of reagents IMA-I413p+sample 277 (1:1), 3–5 % increase in copper recovery was obtained as compared to the standard collector, with selectivity in relation to arsenopyrite to be close to standard flotation process mode. When using BTF 15221 and 271, at the yield of 4.5–6.6 %, the maximum increase in copper recovery was achieved (to 6–8 %) with increasing the arsenic recovery by 9–18 % as compared to IMA-I413p; however, the process selectivity was higher as compared to using the combination of the

standard reagent IMA-I413p and Kh<sub>but</sub>. The recovery of pyrrhotite, the main sulfide mineral that determines sulfur recovery, for all the new collector samples ranged 20 to 40 %, for Kh<sub>but</sub> was 58.4 %, and for IMA-I413p, 39.7 %.

Findings of the tests for assessing the flotation activity of the reagents allowed selecting, for the final testing stage, the collectors BTF 15221, 271, and the combination of IMA-I413p with the BTF-277 sample in the ratio of 1:1. The results of the final closed cycle tests to obtain copper concentrate are presented in Table 2.

**Table 2**

**Performance of the tested collectors to obtain copper concentrate**

Test #	Collector, g/t	Copper concentrate								
		Yield, %	Weight fraction, %, g/t				Recovery, %			
			Cu	As	Au	Ag	Cu	As	Au	Ag
<b>Chalcopyrite-pyrrhotite laboratory-ground ore, tap water</b>										
<i>Weight percent in ore: Cu – 0.22 %, As – 0.007 % (Cu:As = 31.4:1), Au – 1.6 g/t, Ag – 1.16 g/t</i>										
1	IMA-i413p 30	0.84	16.00	0.10	54.20	56.00	61.09	12.00	28.46	40.55
2	BTF 15221 30	0.90	18.53	0.07	57.80	67.00	75.80	9.00	32.51	51.98
3	BTF 15221 40	0.95	17.67	0.09	71.70	64.50	76.30	12.21	42.57	52.82
4	BTF 271 40	0.88	18.18	0.10	64.51	61.43	72.72	12.57	35.48	46.60
5	IMA+ 277 (1:1) 30	0.97	15.36	0.13	55.00	61.70	67.72	18.01	33.34	51.59
6	Reaflot277 45	0.90	15.00	0.10	55.13	57.00	61.36	12.86	31.01	44.22
<b>Chalcopyrite-arsenopyrite-pyrrhotite ore, PPP classifier overflow, recycled water</b>										
<i>Weight percent in ore: Cu – 0.16 %, As – 0.14 % (Cu:As = 1.1:1), Au – 0.69 g/t, Ag – 3.6 g/t</i>										
7	IMA-i413p 30	0.83	14.48	4.57	38.10	231.8	75.12	27.09	45.83	53.44
8*		0.65	18.27	0.94	43.57	278.5	74.22	4.36	41.04	50.28
9	BTF 15221 30	0.76	16.17	5.75	41.84	282.0	76.81	31.21	46.08	59.53
10*		0.64	18.85	0.86	45.42	297.3	75.40	3.93	42.13	52.85

\*The tests on Cu selective flotation were carried out with cleaner flotation s of the copper concentrate in ferrous sulfate medium: FeSO<sub>4</sub> 1st cleaner flotation to pH 7.2 (6.9) – 2nd cleaner flotation to pH 6.8 (6.7)

Table 3

Losses of valuable metals in final tailings in the tests of the laboratory ore sample

Collector; consumption, g/t (Test #)	Product	Weight fraction, %, g/t			Recovery, %			The proportions of total losses, %.		
		Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	Au	Ag
IMA-I413p; 30 (No. 1)	Sulfide flotation tailings	0.02(8)	1.0 (0)	0.4 (5)	11.0 (5)	55.45	34.53	27.7	77.5	58.1
	Cu flotation tailings	0.63	2.5 (0)	2.8 (0)	28.8 (6)	16.09	24.92	72.3	22.5	41.9
<u>BTF 15221;</u> <u>30 (No. 2)</u>	Sulfide flotation tailings	0.02(9)	0.8 (4)	0.4 (0)	12.3 (4)	47.92	30.93	49.0	71.0	64.4
	Cu flotation tailings	0.29	3.5 (7)	2.3 (0)	11.8 (6)	19.57	17.09	51.0	29.0	35.5
<u>BTF 15221;</u> <u>40 (No. 3)</u>	Sulfide flotation tailings	0.02 (7)	0.7 (3)	0.3 (4)	10.7 (1)	40.38	25.60	45.2	70.3	54.3
	Cu flotation tailings	0.24	2.2 (6)	2.1 (0)	12.9 (9)	17.05	21.58	54.8	29.7	45.7

Table 3 shows the losses of copper, gold, and silver in the tests 1–3 in the bulk flotation cycle (sulfide flotation tailings) and in the selective flotation cycle (Cu flotation tailings).

The low recovery of gold and silver was due to the ore material composition. Precious metals occurred in a finely dispersed native state (basic size of 5–75 μm), isomorphically substitute for Fe, Cu, As in sulfides. The non-extractable forms included: gold in quartz in the form of thin leather coats on quartz surface, inside quartz particles, at Au particle size of 0.01–0.2(0.3) mm; silver in heavy metal carbonates, quartz and silicates; and in arsenopyrite in the form of drop-shaped particles. Therefore, the main losses of precious metals were connected with the bulk flotation cycle, in which the bulk of sulfide tailings was separated.

#### 4. Review of the results

All the tested new collector samples provided an increase in the flotation recovery of copper, gold, and silver as compared to the standard IMA-I413p collector sample, with which the total recovery of valuable minerals amounts to 129.1 %, at the consumption of 30 g/t. In the row of increasing the total recovery, the reagents were arranged as follows, %:

$$\begin{aligned}
 & \text{Reaflot 277 (45 g/t – 136.6)} < \\
 & < \text{BTF-271 (40 g/t – 154.8)} < \\
 & < \text{BTF-15221 (30 g/t – 160.3)} < \\
 & < \text{BTF-15221 (40 g/t – 171.7)}.
 \end{aligned}$$

The highest performance on recovery of copper and accompanying precious metals at the lowest weight share of arsenic in the concentrate was achieved with BTF-15221 reagent at the consumption of (25+5) g/t. Increasing the collector consumption to (35+5) g/t allowed increasing the metals recovery, but with increasing the recovery of arsenopyrite into the concentrate. The use of the combination of Reaflot-277 nonionic collector and IMA-I413p (the total recovery of 153 %) increased copper recovery compared to IMA-I413p, but to a lower extent as compared to BTF-15221 and with lower selectivity of the flotation process.

It should be noted that, for the BTF-15221 sample, a large proportion of the losses decline belonged to the selective flotation cycle that was confirmed by the data presented in Table 3. This evidences higher selectivity of the reagent as compared to the standard IMA-I413p collector.

The study of the effect of BTF-15221 in comparison with IMA-I413p on the plant feed of sulfide flotation in the course of the scheelite-chalcopyrite-arsenopyrite-pyrrhotite ore processing showed that the process selectivity sharply decreases with BTF-15221 (see Table 2, tests 7 and 9). Applying the IMA-I413p collector, in contrast to BTF-15221, did not allow obtaining the standard grade copper concentrate. To obtain, from this ore, the standard grade copper concentrate with the IMA-I413p collector,



adding iron sulfate to cleaner copper flotations was required (see Table 2, tests 8 and 10). Under these conditions, the increase in the total recovery of valuable minerals was 4.8 % only (170.4% with BTF 15221 and 165.5 % with IMA-I413p) versus 30% for the scheelite-chalcopyrite-pyrrhotite ore.

The tests indicated that the problem of finding an efficient selective collector for arsenous ores is still relevant.

The selective effect of dialkyldithiophosphate collectors as compared to xanthates is due to the formation of unstable complexes with iron that improves the chalcopyrite/iron-containing minerals (arsenopyrite and pyrrhotite) separation. In contrast to xanthates, dialkyldithiophosphates exhibit noticeable surface activity at the liquid-gas interface (l-g). The influence of surface-active properties of collectors, including dialkyldithiophosphates, was studied by many researchers [18–25]. It was found that high surface activity of the reagent promotes formation of a large number of small air bubbles in the pulp, and the efficiency of fine particles recovery increases. This was confirmed by flotation processing practice. Due to the reagent transition from the solid-liquid interface to the liquid-gas interface, the water layer between the particles and the air bubbles decreased, the mineral particles adhesion to the bubbles increased, the flotation rate increased, and finally the flotation performance was improved [18, 23].

Taking into account the surface-active properties and hydrophobizing ability [8, 9], an assessment of flotation properties of the reagents proposed for testing in this study was carried out.

The values of surface tension of 1% aqueous solution of the collector characterize their surface activity: IMA-I413p, 54.7 mN/m; BTF-271, 55.2 mN/m; and BT-15221, 57.7 mN/m. At the same time, the hydrophobizing ability values were (%): 54.0, 34.6, and 53.0 respectively.

Consequently, in the studied reagents series, the most surface-active reagent, having higher hy-

drophobicity, was IMA-I413n, and the least surface-active reagent was BTF-15221; and the least hydrophobicity was observed for BTF-271.

At low consumption of collectors (up to 20 g/t), in bulk flotation cycle of the open-cycle tests, the collecting properties of BTF 271 and BTF 15221 reagents proved significantly inferior to those of IMA-I413p standard collector. At the same consumption of collectors, the yield of sulfide concentrate with the use of the new collectors was lower by 1.6–1.4 % (compared to the standard one), the copper recovery was lower by 6 % with BTF 271 and by 3.5% with BTF 15221, that of arsenic, by 15-10% lower, and that of sulfur, by 4–10 % lower.

### Key findings

The data obtained confirm the existing definite relationship between the surface activity and the hydrophobizing ability of the compared reagents. This dependence was also observed in the series of tests in the study [17], where the most effective sample of IMA-208 showed higher surface activity and higher hydrophobizing ability in comparison with IMA-I413.

However, increasing the amount of adsorbed collector on the surface of minerals (increasing the coverage area) with the growth of the collector concentration in the pulp reduces the effect of surface activity and the hydrophobizing ability of the reagent, especially at insignificant difference of the values.

With increasing consumption of the collectors (BTF-271,15221) (at 30–45 g/t), or in the closed cycle tests, the collecting activity of the new collectors in the bulk cycle increased due to increasing the reagent concentration in the pulp. The flotation efficiency for the associated sulfide minerals approached the performance of the less selective collector  $K_{X_{but}}$  (the consumption of 50 g/t), at advanced recovery of chalcopyrite.



The determining factor in the bulk sulfide concentrate separation was the strength of the collector's fixation on the surface of the valuable minerals.

### 5. Areas of further research

The created BTF 15221 collector sample proved of undoubted interest for further commercial tests on copper-arsenopyrite and other types of ores with possible correction of its collecting strength and selectivity through varying its con-

sumption in flotation cycle, pulp density, temperature, and other process parameters. It is planned to conduct commercial tests of the collector at the PPP in 2021.

Based on the BTF 15221 collector high efficiency on chalcopyrite flotation in the selective copper flotation cycle, the modeling of the reagent flotation properties continued through the introduction of new low molecular weight homologues into its composition.

### References

1. Khan G. A., Gabrielova L. I., Vlasova N. S. *Flotation reagents and their application*. Moscow: Nedra Publ.; 1986. 271 p. (In Russ.)
2. Bogdanov O. S., Golman A. M., Kakovsky I. A. et al. *Physico-chemical foundations of flotation theory*. Moscow: Nauka Publ.; 1983. 264 p. (In Russ.)
3. Konev V. A. *Sulfide Flotation*. Moscow: Nedra Publ.; 1985. 262 p. (In Russ.)
4. Solozhenkin P. M., Kubak D. A., Petukhov V. N. Computer modeling of sulfhydryl compounds with hydroxyl radicals and prediction of their use as flotation agents. *Vestnik of Novosibirsk state technical university*. 2016;14(1):26-33. (In Russ.)
5. *Ore Beneficiation Handbook. Basic processes*. Ed. Bogdanov O. S. Moscow: Nedra; 1983. P. 270-280. (In Russ.)
6. Lewis A. Tecflote-novel chemistry for new sulfide collectors. A selective collectors at natural pH for pyrite rich ores and ores containing sulfides, gold, silver and platinum group elements. In: *XXIX IMPC*. Moscow; 2018. P. 244.
7. Tercero N., Nagaraj D. R., Farinato R. A critical overview of dithiophosphinate and dithiophosphate interactions with base metal sulfides and precious metals. *Mining, Metal. and Explor.* 2019;(1):99-110.
8. Solozhenkin P., Ibragimova O., Emelyanenko E., Yagudina J. Current understanding of thiol collector adsorption mechanism on tennantite using computational docking and FTIR-techniques. In: *XXIX IMPC*. Moscow; 2018. P. 20.
9. Miki H., Hirajima T., Muta Y., et al. Investigation of reagents for selective flotation on chalcopyrite and molybdenite. In: *XXIX IMPC*. Moscow; 2018. P.663.
10. Karimain A., Rezaei B., Masoumi A. The effect mixed collectors in the rougher flotation of sungun copper. *Life Science Journal*. 2013;10(6s):268-272.
11. Solozhenkin P. M., Krausz S. Study of sulfhydryl flotation reagents isomery. In: *XV Balkan Mineral Processing Congress*. Bulgaria. 2013;(1):429-432.
12. Lui G., Xiao J., Yang X., Zhong H. A review of flotation collectors: fundamentals to practice. In: *XXVIII IMPC*. Canada, Quebec; 2016. P. 206.
13. New technologies to recover gold and silver from ores and concentrates in cell-type column / P.N. Hreniuc, I. Pasca, O. Stevan, G. Badescu // *XV Balkan Mineral Processing Congress*. Bulgaria. 2013. Vol 1. P. 466-475.
14. Ryaboy V. I., Shepeta E. D. Effect of surface activation of dialkyldithiophosphate hydrophobizing properties on flotation of copper arsenic ores. *Obogashchenie Rud.* 2016;4(364):29-34. (In Russ.)
15. Ryaboy V. I., Shepeta E. D., Ryaboy I. V. Applying Reagents Containing the Thioamide Group in the Flotation of Copper-Arsenopyrite Ores. In: *XXIX IMPC*. Moscow; 2018. P. 692.
16. Samatova L. A., Ryaboy V. I., Shepeta E. D. Increasing recovery of nonferrous and precious metals using Aeroflot agents in flotation of scheelite-sulfide ores. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2013;(6):151-157.
17. Ryaboy V.I., Levkovets S.E., Efremova G.A., Koval O.E. New dialkyldithiophosphate collector for silver-containing ore flotation. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2018;(3):45-53. DOI: [10.17073/2500-0632-2018-3-45-53](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-3-45-53) (In Russ.)
18. Kondratyev S. A. Estimation of Reagents-Collectors Flotation Activity. *Obogashchenie rud.* 2010;(4):24-30.
19. Pan Lei, Jung Sunghwan, Yoon Rol-Hoan. A fundamental study on the collector in the kinetics of bubble-particle interaction. *International Journal of Mineral Processing*. 2012;37-41:106-109. DOI: [10.1016/j.minpro.2012.02.001](https://doi.org/10.1016/j.minpro.2012.02.001)
20. Pan Lei, Yoon Rol-Hoan. Direct measurement of hydrodynamic and surface forces in bubble-particle interactions. In: *XXVII IMPC*. Santiago, Chile. 2014;(1):88.



21. Tan Y. H., Rafiei A. A., et. al. Bubble size, gas holdup and bubble velocity profile of some alcohols and commercial frothers. *International Journal of Mineral Processing*. 2013;119:1-5.
22. Chu P., Finch J. Break-up in formation of small bubbles: Salts and frothers. In: *XXVII IMPC*. Santiago, Chile; 2014. P. 95.
23. Kondratyev S. A., Ryaboy V. I. Influence of desorbed species of xanthates and dialkyldithiophosphates on their collecting ability. In: *XXVIII IMPC*. Quebec, Canada; 2016. P. 133.
24. Tan Y. H., Finch J. A. Surfactant structure-property relationship: Aliphatic alcohols and bubble rise velocity. In: *XV Balkan Mineral Processing Congress*. Bulgaria; 201. P. 423-428.
25. Ignatkina V. A., Dyachkov F. G., Bocharov V. A. Collecting properties of diisobutyl dithiophosphinate in sulfide minerals flotation from sulfide ore. *Journal of mining science*. 2013;49(5):795-802.

### Библиографический список

1. Хан Г. А., Габриелова Л. И., Власова Н. С. *Флотационные реагенты и их применение*. М.: Недра; 1986. 271 с.
2. Богданов О. С., Гольман А. М., Каковский И. А. и др. *Физико-химические основы теории флотации*. М.: Наука; 1983. 264 с.
3. Конев В. А. *Флотация сульфидов*. М.: Недра; 1985. 262 с.
4. Соложенкин П. М., Кубак Д. А., Петухов В. Н. Компьютерное моделирование сульфгидрильных соединений с гидроксильными радикалами и прогноз их в качестве флотореагентов. *Вестник МГТУ им.Г.И. Носова*. 2016;14(1):26-33.
5. *Справочник по обогащению руд. Том. 2. Основные процессы*. Под ред. О. С. Богданова. М.: Недра; 1983. С. 270–280.
6. Lewis A. Tecflore-novel chemistry for new sulfide collectors. A selective collectors at natural pH for pyrite rich ores and ores containing sulfides, gold, silver and platinum group elements. In: *XXIX IMPC*. Moscow; 2018. P. 244.
7. Tercero N., Nagaraj D. R., Farinato R. A critical overview of dithiophosphinate and dithiophosphate interactions with base metal sulfides and precious metals. *Mining, Metal. and Explor.* 2019;(1):99-110.
8. Solozhenkin P., Ibragimova O., Emelyanenko E., Yagudina J. Current understanding of thiol collector adsorption mechanism on tennantite using computational docking and FTIR-techniques. In: *XXIX IMPC*. Moscow; 2018. P. 20.
9. Miki H., Hirajima T., Muta Y. et al. Investigation of reagents for selective flotation on chalcopyrite and molybdenite. In: *XXIX IMPC*. Moscow; 2018. P.663.
10. Karimain A., Rezaei B., Masoumi A. The effect mixed collectors in the rougher flotation of sungun copper. *Life Science Journal*. 2013;10(6s):268–272.
11. Solozhenkin P. M., Krausz S. Study of sulfhydryc flotation reagents isomery. In: *XV Balkan Mineral Processing Congress*. Bulgaria. 2013;(1):429-432.
12. Lui G., Xiao J., Yang X., Zhong H. A review of flotation collectors: fundamentals to practice. In: *XXVIII IMPC*. Canada, Quebec; 2016. P. 206.
13. New technologies to recover gold and silver from ores and concentrates in cell-type column / P.N. Hreniuc, I. Pasca, O. Stevan, G. Badescu // *XV Balkan Mineral Processing Congress*. Bulgaria. 2013. Vol 1. P. 466–475.
14. Рябой В. И., Шепета Е. Д. Влияние поверхностной активации и гидрофобизирующих свойств диалкилдитиофосфатов на флотацию медных мышьяксодержащих руд. *Обогащение руд*. 2016;4(364):29–34.
15. Ryaboy V. I., Shepeta E. D., Ryaboy I. V. Applying Reagents Containing the Thioamide Group in the Flotation of Copper-Arsenopyrite Ores. In: *XXIX IMPC*. Moscow; 2018. P. 692.
16. Саматова Л. А., Рябой В. И., Шепета Е. Д. Повышение извлечения цветных и благородных металлов с использованием аэрофлотов при флотации шеелит-сульфидных руд. *ФТПРПИ*. 2013;(6):151-157.
17. Рябой В. И., Левковец С. Е., Ефремова Г. А., Коваль О. Е. Новый диалкилдитиофосфатный собиратель для флотации серебросодержащих руд. *Горные науки и технологии*. 2018;(3):45–53. DOI: [10.17073/2500-0632-2018-3-45-53](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-3-45-53)
18. Kondratyev S. A. Estimation of Reagents-Collectors Flotation Activity. *Обогащение руд*. 2010;(4):24-30.
19. Pan Lei, Jung Sunghwan, Yoon Rol-Hoan. A fundamental study on the collector in the kinetics of bubble-particle interaction. *International Journal of Mineral Processing*. 2012;37-41:106-109. DOI: [10.1016/j.minpro.2012.02.001](https://doi.org/10.1016/j.minpro.2012.02.001)
20. Pan Lei, Yoon Rol-Hoan. Direct measurement of hydrodynamic and surface forces in bubble-particle interactions. In: *XXVII IMPC*. Santiago, Chile. 2014;(1):88.
21. Tan Y. H., Rafiei A. A., et. al. Bubble size, gas holdup and bubble velocity profile of some alcohols and commercial frothers. *International Journal of Mineral Processing*. 2013;119:1-5.
22. Chu P., Finch J. Break-up in formation of small bubbles: Salts and frothers. In: *XXVII IMPC*. Santiago, Chile; 2014. P. 95.



23. Kondratyev S. A., Ryaboy V. I. Influence of desorbed species of xanthates and dialkyldithiophosphates on their collecting ability. In: *XXVIII IMPC*. Quebec, Canada; 2016. P. 133.
24. Tan Y. H., Finch J. A. Surfactant structure-property relationship: Aliphatic alcohols and bubble rise velocity. In: *XV Balkan Mineral Processing Congress*. Bulgaria; 201. P. 423-428.
25. Ignatkina V. A., Dyachkov F. G., Bocharov V. A. Collecting properties of diisobutyl dithiophosphinate in sulfide minerals flotation from sulfide ore. *Journal of mining science*. 2013;49(5):795-802.



## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-307-317

**Improvement of administrative approaches to subsoil state management  
in the Republic of Kazakhstan****R. N. Baimishev**Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan,  
Nur-Sultan, the Republic of Kazakhstan

**Abstract:** Mineral resource base of the Republic of Kazakhstan, being as the basis of its economy, plays a special role not only in sustainable development of the country, but also in the formation of successful international relations. The paper substantiates the direction of the mining and metallurgical complex development in the Republic of Kazakhstan towards solving the problem of increasing the country's long-term competitiveness. It was demonstrated that achieving these goals will allow building the potential for consistent and secure participation of the national economy in market interaction with leading global partners on mutually beneficial terms. At the same time, despite forecasted promising geological data, significant excess of the scope of mining work over that of exploration is observed in the Republic of Kazakhstan. It is also shown that the share of investments in geological exploration in the total investments in the mining sector is insignificant. The major part of the funds is invested in mineral extraction activities. In this connection, the paper proposes ways to improve administrative approaches to subsoil management in the Republic of Kazakhstan when granting subsoil use rights, in order to eliminate barriers for investors. The proposed improvements for the state subsoil management can have positive effect: investment growth due to improving the administrative approaches in the Republic's state subsoil management, ensuring transparency of information, supporting new standards, a simplified procedure for obtaining subsoil use rights (licensing); reducing corruption in the field of geology and subsoil use and reducing labor costs for the implementation of state functions through the creation of a modern geological infrastructure and the use of innovative opportunities in the implementation of supervisory functions by the competent authorities; ensuring fair returns for the government from taxes, as well as obtaining fair returns by investors.

**Keywords:** mineral resources, administrative approaches, state management, licensing of subsoil use, competitiveness of the state, international standards, information systems for subsoil use, balance of natural resources, investment attractiveness of mining industry

**For citation:** Baimishev R. N. Improvement of administrative approaches to subsoil state management in the Republic of Kazakhstan. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):307-317. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-307-317

**Совершенствование административных подходов  
государственного управления недрами Республики Казахстан****Р. Н. Баймишев**Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан,  
г. Нур-Султан, Республика Казахстан

**Аннотация:** Минерально-сырьевая база Республики Казахстан – как основа ее экономики – играет особую роль не только в стабильном развитии страны, но и в формировании успешных международных отношений. В работе обоснована направленность развития горно-металлургического комплекса Республики Казахстан на решение задачи повышения конкурентоспособности страны в стратегической перспективе. Показано, что достижение этих целей позволит сформировать потенциал для последовательного и гарантированного взаимодействия с ведущими странами мира на выгодных для республики условиях. При этом, несмотря на прогнозируемые перспективные геологические данные, в Республике Казахстан в настоящее время зафиксировано значительное превышение добычных работ над разведочными. Показано также, что доля инвестиций в геологоразведку от общего объема инвестиций в горнорудный сектор – незначительная, основная часть инвестируется в добычу полезных ископаемых. В связи с этим в работе предложены пути совершенствования административных подходов к управлению недрами Республики Казахстан при предоставлении права недропользования с целью исключения барьеров для инвесторов. Предлагаемые изменения по совершенствованию государственного управления недрами могут дать положительный эффект:

рост инвестиций за счет совершенствования административных подходов государственного управления недрами республики, обеспечения прозрачности информации, поддержки новых стандартов, упрощенного способа получения прав на недропользование; снижение коррупционности в сфере геологии и недропользования и сокращение трудозатрат на реализацию государственных функций за счет создания современной геологической инфраструктуры и применения инновационных возможностей при реализации контрольных функций компетентных органов; обеспечение справедливой доходности для государства от поступающих налогов, а также получение инвесторами справедливой прибыли.

**Ключевые слова:** минеральные ресурсы; административные подходы, государственное управление, лицензирование недропользования, конкурентоспособность государства, международные стандарты, информационные системы недропользования, баланс природных ресурсов, инвестиционная привлекательность горной отрасли

**Для цитирования:** Баймишев Р. Н. Совершенствование административных подходов государственного управления недрами Республики Казахстан. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4):307-317. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-307-317

**1. Introduction.** Mineral resource base of the Republic of Kazakhstan (RK) is the basis for the country's economy development, political stability, and prosperity of the state as a whole. Currently, in the context of tough international competition, mineral resources of Kazakhstan play a particularly important role in sustainable economic development of the country and the formation of successful international relations.

Increasing competitiveness of the Republic of Kazakhstan in the international arena in the struggle for raw materials is possible through improving the mechanisms of legal regulation of this sector. Since the mining sector is highly risky, it is necessary to switch to effective international methods of state management of subsoil resources of the Republic of Kazakhstan.

In this regard, the head of state N.A. Nazarbayev, in the national plan "100 concrete steps", identified the primary tasks in the field of geology and subsoil use:

- introduction of a simplified contracting method for all types of minerals using the best world practices;
- increasing transparency and predictability of the subsoil use sphere through the introduction of the international system of reporting standards for solid mineral reserves CRIRSCO.

In pursuance of these provisions, on December 27, 2017, the Republic of Kazakhstan adopted the Code "On Subsoil and Subsoil Use".

The main prerequisites for reforming the mining legislation were the condition of the mineral resource base and the insufficient level of investment in the industry.

As known, it is possible to replenish the balance of resources due to geological exploration at the expense of state, quasi-state, or private investments. Taking into account the necessary costs in such a risky area of activity as geological exploration, the way of attracting private investment was selected. Therefore, the main goal of the ongoing reforms can be formulated as follows: "Replenishment of the country's mineral resource base through significant increasing attractiveness of the conditions (regulatory and economic framework) for exploration and production of solid minerals."

To achieve this goal, the following tasks were determined within the framework of the Code:

- creation of conditions for the emergence of junior exploration companies;
- establishing simple, predictable, transparent, and stable conditions for exploration and production of solid minerals;



- elimination of state regulation of technical and economic issues of subsoil use, including estimation of mineral resources and reserves;

- introduction of an electronic form of communication between the state and the industry, including the choice of a subsoil plot, filing applications and issuing licenses (contracts for subsoil use in Kazakh legislations), sending notifications;

- strengthening the requirements on mine closure to ensure environmental safety of the country.

## **2. Analysis of international experience in regulating the sphere of subsoil use and formation of the concept of the Code of the Republic of Kazakhstan "On subsoil and subsoil use"**

It should be noted that when developing the Code, international experience was studied in detail on the basis of a year and a half analysis and recommendations of the World Bank, OECD, Dundee Institute, EBRD, SOFRECO. Based on the study findings, the experience of Australia was revealed as the best world experience in subsoil use regulation [1].

The peculiarity of the Australian approaches lies in the transparency and simplicity of the procedures for granting subsoil use rights, which are the standard of investment attractiveness in global mining sector. Countries that have implemented the Australian methods in their subsoil use legislation have achieved a significant increase in investment in the industry: Peru, Canada, Chile, Ecuador, Mongolia, Nigeria, Mozambique [2–4]. All these countries have the highest rating of attractiveness of investments in subsoil use [5–7]. For example, the capitalization of the Canadian Stock Exchange only in the part of junior companies is more than 58 billion USD. Almost all the largest mining companies in the world operate in Australia, the number of mining companies has reached 15 thousand, more than

23.5 thousand licenses have been issued, 27 % of the country's territory are covered by exploration (for comparison, only 600 contracts have been concluded in Kazakhstan) [8–11]. All this provide new jobs, discovery of new deposits and development of related industries.

According to the findings of the McKinsey report, in the event of commencing intensive geological exploration in Kazakhstan, at least 15 world-class deposits, as well as new mining provinces, are forecasted to be discovered.

In this regard, in order to ensure significant inflow of investments into geological exploration, the introduction of a licensing procedure for granting subsoil use rights with annually increasing lease rate on the basis of the “first in, first out” principle (FIFO) was chosen as a key innovation in the field of subsoil use [12, 13].

The main attraction for investors is that, in contrast to the previously established duration of procedures for granting exploration rights of 540 days, the new Code provides for exploration licenses to be issued within 10 working days.

Granting subsoil use right (licensing) based on the FIFO principle implies division of the territory of the Republic of Kazakhstan free from subsoil use into blocks with an area of no more than 1.8 km<sup>2</sup>. A license can be issued for 10 blocks at once, but it will be necessary to comply with the requirements for the minimum investment in exploration or production, the size and breakdown by years of which are defined in the Subsoil Code, as well as to pay rent for each block. These provisions will not allow unscrupulous subsoil users to hold the territory without investing the required amount of investment.

In order to stimulate implementing exploration, a progressive rental rate has been established at the exploration stage, whereas fixed rate has been established at the production stage. All this



stimulates comprehensive exploration of the contract (license) area in full (now, in the country, there are contract areas of thousands of square kilometers, in which, in fact, work is being carried out in 10 km<sup>2</sup>). And most importantly, large-scale, high-quality and detailed geological exploration of Kazakhstan will be ensured to reach high level of exploration maturity (for example, as yet Kazakhstan's exploration costs per 1 km<sup>2</sup> are only \$ 3; whereas, in Australia, the costs are \$ 167; in the USA, \$ 87; in Canada, \$ 203; in Russia, \$ 25). That is, over the past decades, investments in geological exploration did not ensure replenishment of the Kazakhstan's reserves [14–16].

Particular attention should be paid to a new document, which is provided for in the Subsoil Code, the Program for State Subsoil Fund Management of the (PSSFM). The purpose of the PSSFM is to manage the state subsoil fund systematically, efficiently, and publicly. The PSSFM establishes the main directions of state policy in the field of subsoil management, and also defines [17, 18]:

- territories and subsoil plots within which subsoil use rights are granted on the basis of an application, taking into account the types of subsoil use and minerals, as well as the powers of the competent authorities;

- territories and subsoil plots within which subsoil use rights are granted on the basis of auctions or tenders;

- priority directions of the state policy on geological exploration, indicating the territories and corresponding subsoil plots.

In addition, a conceptual innovation of the Code is the provision of open access to geological information and its digitizing. This will allow implementing in full the Australian model in the field of subsoil use and will significantly improve the investment environment in the field of subsoil use in Kazakhstan.

The Code "On Subsoil and Subsoil Use" guarantees an unconditional transition from the exploration stage to the production stage in case of discovery of a deposit. This measure will provide investors with confidence in the return on investment in the exploration.

The only condition for obtaining a production license when shifting from the exploration stage will be the environmental approval of the project documentation.

The Code of the Republic of Kazakhstan "On Subsoil and Subsoil Use" provides for shifting to international standards for estimation of resources and reserves of solid minerals.

Taking into account significant differences between mineral mining and oil-and-gas sectors in terms of specifics, labor intensity of work and capital investment, different approaches have been laid in the regulation of subsoil use for solid minerals, hydrocarbons (HCs), industrial minerals, etc.

It should be noted that the Code revises the current principles for the formation of a list of common minerals, taking into account world experience.

Besides, in Kazakhstan, the procedure for subsoil use consequences remediation has been improved through introducing new instruments as security for obligations on the remediation, such as guarantees, pledges and insurance. The security for obligations on the remediation is in favor of the Republic of Kazakhstan acting by the governmental body that granted the subsoil use right (issued the license). At the same time, the collateral amount is determined for prospecting and artisanal mining based on the number of hectares, at the exploration stage, based on the number of blocks, and at the mining stage for the first three-year period it is calculated on the basis of the market value of the work and is subject to updating every three-year license period.



The Code "On Subsoil and Subsoil Use" should become a breakthrough legislative act aimed at introducing the principles and approaches adopted in international practice, ensuring transparent and understandable methods of government regulation, reorienting the government machinery to support of investments.

Implementation of the new approaches will contribute to the inflow of new investments into the subsoil use sector. This will subsequently contribute to the creation of additional jobs, regional development, strengthening of economic stability and raising competitiveness of the Republic of Kazakhstan in the international arena.

### **3. Investment attractiveness of the mineral resource base of the Republic of Kazakhstan and the system of governmental subsoil management**

In order to create a developed market economy, one of the tasks facing all states of the world is to build an effective system of state management of the resources they possess. In this regard, increasing the competitiveness of the Republic of Kazakhstan in the international arena in the struggle for raw materials is possible through the improvement of mechanisms and approaches to state management of subsoil [19–21].

As of 01.01.2019, the State Fund of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan is characterized by low investment attractiveness (underexplored deposits, lack of infrastructure, falling world prices for certain types of raw materials, complicated mining and geological conditions, high capital intensity, long return on initial investments, high operational inertia, low liquidity of the residual fixed assets of a mining enterprise, contradictions in the regulatory framework).

All of the above indicates the need to revise the current approaches to the management of the sector, including through the development of an

effective governmental strategy for the sector development and increasing funding for exploration, being the cornerstone of the industry, due to which the mineral resource base of Kazakhstan will be replenished.

Thus, in order to bring the industry out of the crisis, it is necessary to improve the system of state management of the industry, which requires not just a modernization, but radical changes.

Stimulating prospecting and exploration for replenishing the mineral resource base of the Republic of Kazakhstan and the discovery of new deposits through attracting private investment is possible if the following proposed measures to improve the state management of subsoil in the Republic of Kazakhstan are implemented: reforming the institutional arrangements of the subsoil state management; updating strategic programs for subsoil management; creation of up-to-date geological infrastructure; improvement of administrative approaches to the Republic of Kazakhstan's subsoil state management; application of innovation opportunities in the implementation of the control functions of the competent authorities; improvement of the taxation environment on subsoil use issues.

Taking into account exploration potential of the mineral resource base, country location, economic components, market demand, infrastructural factors and many other aspects, states form a subsoil management system and develop appropriate principles of legal regulation of subsoil use. In Kazakhstan, the following fundamental principles of regulation of this industry have been formed, which determine the specifics of the subsoil state management: rational management of the state subsoil fund; ensuring environmental safety when using subsoil; availability of information in the field of subsoil use; payment for subsoil use; conscientiousness of subsoil users; stability of subsoil



use legal framework. The above principles were developed by the state to ensure sustainable development of the mineral resource base of the Republic of Kazakhstan, economic growth of the state and the welfare of the community.

In addition to the subject and principles, the subsoil state management is characterized by its inherent system, formed from various governmental bodies, endowed with the appropriate powers and functions for subsoil management.

Currently the functions of managing state property in the field of subsoil use are entrusted with the different governmental bodies depending on the mineral type: Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan – hydrocarbons and uranium, Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan – solid minerals, Ministry of Agriculture – groundwater, local executive bodies of regions and cities of republican subordination – industrial minerals, Ministry of Geology, Ecology and Natural Resources – issues of development of geology.

At present the state acts as a subject of management, manages its property – the governmental subsoil fund, offering a subsoil plot for granting subsoil use rights and issuing licenses (contracts) for subsoil use. State property as an object of management is granted to investors for temporary use, and the fact of granting the right to use is formalized with a special state permit in the form of a license (a contract). The license sets out the rights and obligations of investors; the conditions for subsoil use are determined at the legislative level.

As a result, the process of managing the state subsoil fund is carried out through the system of licensing (permitting) and restrictive measures aimed at solving tactical tasks of the state and achieving targets (benchmarks) determined by the mineral resource base, long-term and medium-term programs for the industry development and the country's economy as a

whole. In this case, the objects of strategic management are objects from both allocated and unallocated subsoil funds.

Based on the above, the system of subsoil state management can be schematically shown as follows (Fig. 1).

Among the factors that determine the conditions and outputs of the subsoil use system functioning, an important role is played by the state management of the system activity, the efficiency of which determines the level of use of the territory's resource potential.

Stimulating prospecting and exploration for replenishing the mineral resource base of the Republic of Kazakhstan and the discovery of new deposits through attracting private investment is possible on condition of improving the whole set of the above component-areas of the subsoil state management in the Republic of Kazakhstan.

In this regard, by analogy with the experience of Western Australia, Canada and the United States, being the countries that have the best achievements in managing the subsoil use, it is proposed to improve the approaches to the subsoil state management in Kazakhstan in order to address the following tasks:

- attracting private investment in prospecting and exploration by simplifying and improving procedures for junior companies and increasing investments in prospecting and exploration of the country's territory, including improving the administrative approaches to subsoil state management in the Republic of Kazakhstan when granting subsoil use rights (licensing) in order to eliminate barriers for investors, namely: simplifying the requirements for submitting an application for obtaining a subsoil use right (licensing) in two languages (Russian and Kazakh), as well as in hard copy; simplifying the requirements for confirming the applicant's financial capabilities, etc.;

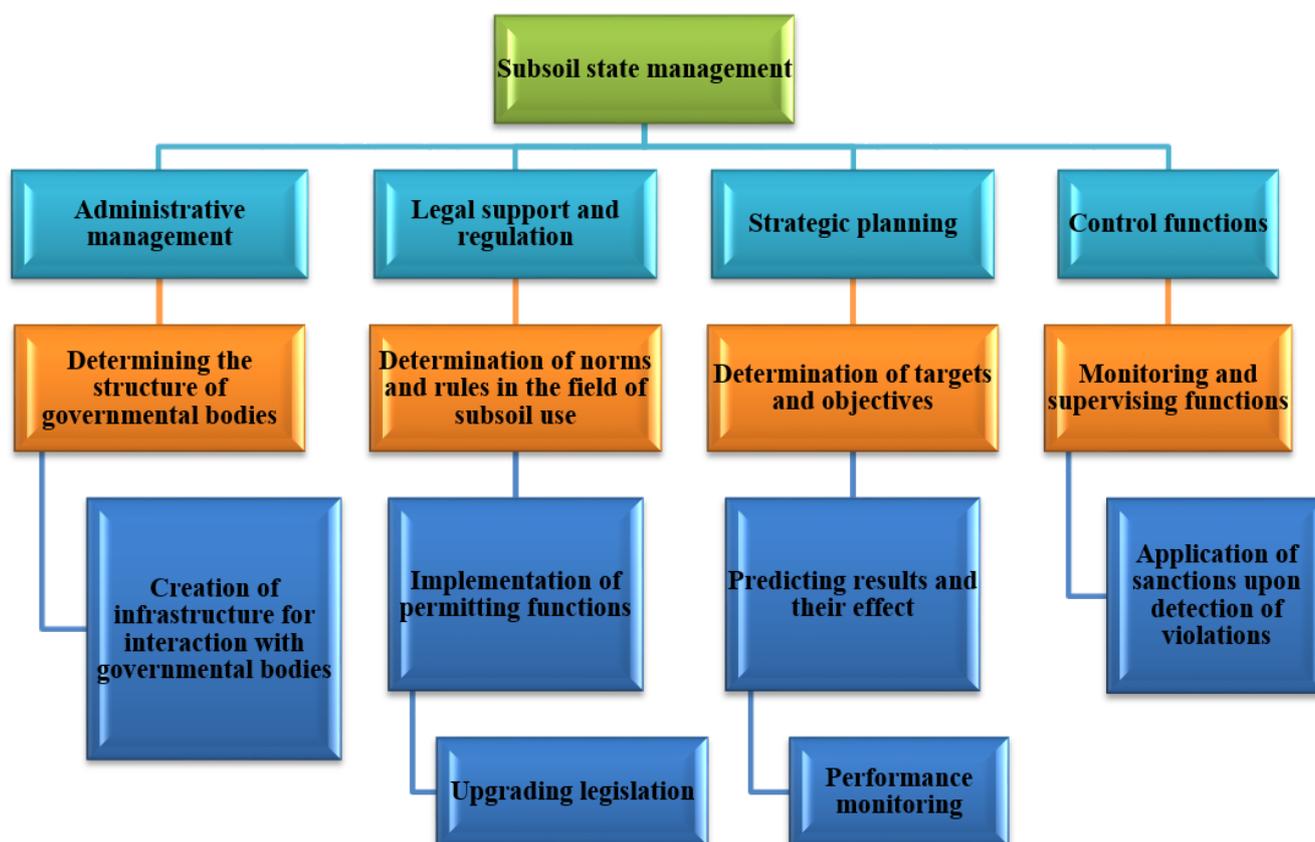


Fig. 1. Subsoil state management system in Kazakhstan

- development of geological infrastructure, as well as reorientation of the Geological Service of Kazakhstan to strengthening preliminary research, mapping, analysis of historical data on an ongoing basis;

- creation of the National Database of Mineral Resources using modern innovative approaches and opportunities. This will allow automating the process of providing public services, expanding the list of innovative services, improving informing the population in the process of making political decisions, building a targeted approach in public administration, and introducing a system of public examination of government decisions;

- exemption of geological exploration from tax burdens to increase the competitiveness of the subsoil use sector of Kazakhstan at the world level.

Domestic approaches to taxation of subsoil users, in comparison with the leading countries in the field of subsoil use, are assessed by investors and international experts as very complicated and

uncompetitive. This confirms that Kazakhstan requires a conceptual revision of the taxation system that will contribute to implementing effective approaches in subsoil state management and create a favorable environment for the mining industry development, stimulate the inflow of new investments and, correspondingly, increase the contribution to the country's economic development.

In this regard, the following changes in the taxation regime for subsoil users in the Republic of Kazakhstan are proposed:

- eliminating of the value added tax (VAT of 12%) when conducting prospecting and exploration of minerals, since the first product in subsoil use that has a market value is mineral raw materials, which are subject to taxation in accordance with special payments of subsoil users;

- to allow classifying costs for prospecting and exploration as tax deductions if the prospecting and exploration findings are not subsequently used in the following mining activities. Besides,

to allow, by analogy with the mechanism provided for HCs, to classify costs for unsuccessful exploration as tax deductions;

- in connection with the shift to the international standards for mineral reserve estimation, it is recommended that the current system for determining the mineral extraction tax be replaced by royalties, applying the best world practice of Canada, Bolivia, Australia, since this type of taxation of mining activities has a number of advantages: it stimulates subsoil users to create multi-process stage productions; facilitates administration; has a positive effect on attracting investment.

The analysis allowed developing a mechanism for improving the administrative approaches to subsoil state management in the Republic of Kazakhstan.

The target set by the government of the Republic of Kazakhstan to implement the reforms

through adopting the Code of the Republic of Kazakhstan "On Subsoil and Subsoil Use" and improving the investment environment, reducing administrative and bureaucratic barriers in obtaining subsoil use rights (mineral rights) has obviously been achieved. This is confirmed by the fact that for an year of the Code and the State Subsoil Fund Management Program being in force the number of mineral exploration licenses issued reached 400. This figure is very impressive for the specified period, especially in comparison with subsoil use contracts for minerals concluded over 25 years of the Republic of Kazakhstan independence in the amount of 538 pcs.

However, it should be noted that the competent authority received about 1,404 applications for mineral exploration licenses.

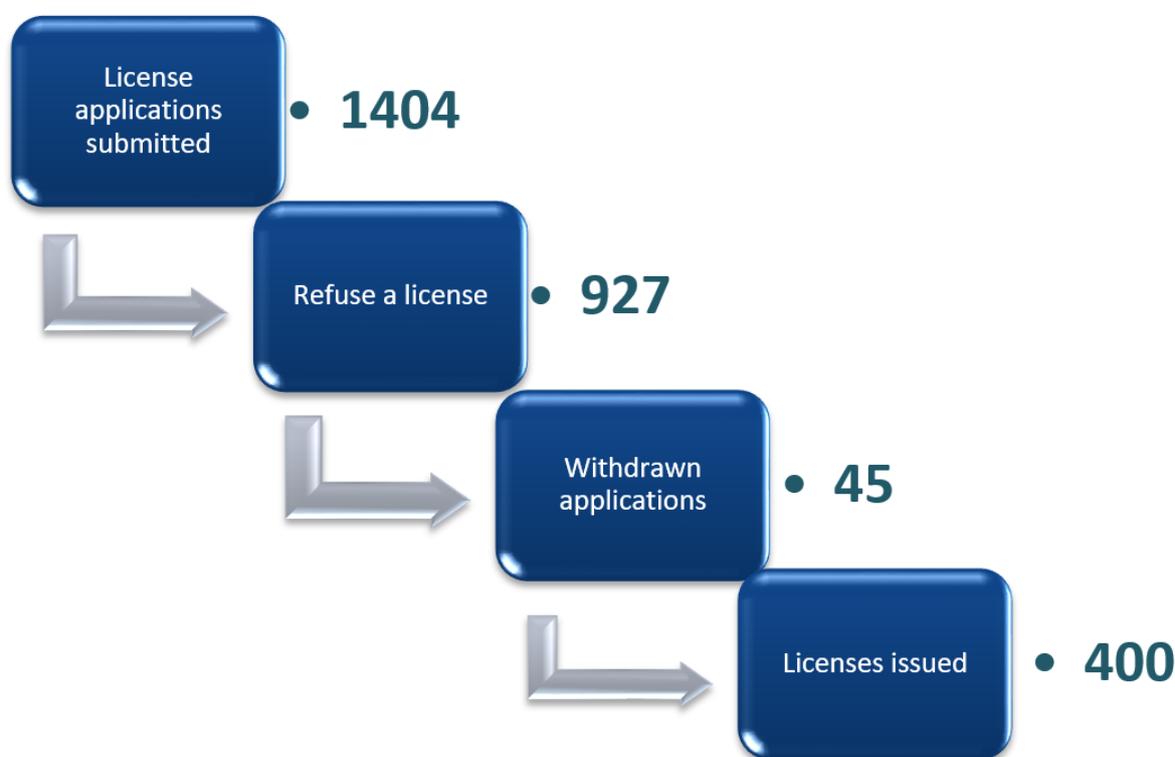


Fig. 2. Number of submitted and examined applications for mineral exploration licenses in Kazakhstan



Fig. 2 shows high percentage (66 %) of refusals to grant the right to use subsoil (licensing), the reasons for which can be considered as constraining factors for attracting private investment in exploration:

- the requirement to provide confirmation that the applicant has financial capabilities sufficient to conduct subsoil use operations;
- the requirement to submit an application for license in soft and hard copies;
- the requirement to provide the documents (the application and attachments to it) in Russian and Kazakh languages;
- the requirement for the presence of the requested subsoil plot in the PSSFM.

The fact that the applicant has financial capabilities sufficient to conduct subsoil use operations is mainly confirmed by submitting a statement of the balance and movement of money in a bank account. At the same time, the Code toughened the requirements for this statement, since it is necessary to show the permanent availability of funds (every day) during the month preceding the date of application. That is, in fact, the statement must be issued the day before the application is submitted, and this requirement in some cases makes it impossible for subsoil users from regions remote from the capital of Kazakhstan (the location of the competent authority) to submit an application.

A negative point in this case is also the requirement to submit the applications in hard copies, which requires physical delivery of the documents to the office of the competent authority and, thus, entails labor and material costs for the applicants. The same negative consequences are caused by the requirement to submit the application and all supporting documents attached to it in two languages (Kazakh and Russian).

Particular attention in the subsoil management of should be given to the PSSFM formation.

This specified program document (PSSFM) is included into the Subsoil Code to the end that managing the state subsoil fund to be systematic, efficient, and public. At the same time, the established practice shows the unsystematic character of the formation of this legal act. Until now, the Committee for Geology carried out the PSSFM formation exclusively by collecting and processing (verification of the fact that a subsoil plot is free and no constraints on the subsoil use are imposed) applications for the inclusion of a subsoil plot in the PSSFM for the possibility of issuing a license.

This practice confirms weak exploration maturity of the country's territory and the insufficient competence of the authorized bodies when developing the program. This circumstance has developed due to the ineffective structure of the government bodies authorized to manage the subsoil, the lack of the necessary infrastructural information system in the field of subsoil use, enabling to visually trace the ongoing changes and plan further stages of the industry development. In this regard, it is proposed to revise the above requirements for applicants: eliminate the reasons that prevent issuing licenses for subsoil use, and create the necessary infrastructure in the field of geology and subsoil use.

**4. Conclusions.** Thus, introduction and implementation of the proposed changes to improve approaches to subsoil state management create conditions for:

- investment growth due to the improvement of administrative approaches to subsoil state management in the Republic of Kazakhstan, ensuring transparency of information, support of new standards, simplified procedure of obtaining subsoil use rights (licensing);
- reducing corruption in the field of geology and subsoil use and decreasing labor costs for im-



plementation of state functions through the creation of modern geological infrastructure and the use of innovative opportunities in the implementation of supervising and control functions of the competent authorities;

- ensuring fair return for the state from taxes, as well as obtaining fair return on investment for the investors.

## References

1. Nikitina N. Mineral Resource Dilemma: How to Balance the Interests of Government, Local Communities and Abiotic Nature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017;11(9):8632-8644. DOI: [10.3390/ijerph110908632](https://doi.org/10.3390/ijerph110908632)
2. *Peru Mining Law*. URL: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mininglaw/mining-law-2016/peru> [Accessed: June 28, 2016]
3. *The Chilean Copper Commission (COCHILCO), Ministry of Mining, Government of Chile* URL: <http://www.cochilco.cl/english/legislation/laws.asp> [Accessed: June 28, 2016].
4. *The Canadian Minerals and Metals Plan*. MinesCanada.ca. 52 c.
5. Strauch B., Korolchenko A. Mining activities in the focus of investors Common characteristics and differences of the German, French, Russian and Japanese mining law [Bergbau im Fokus der Investoren Gemeinsamkeiten und Unterschiede des deutschen, französischen, russischen und Japanischen Bergrechts]. *World of Mining – Surface and Underground*. 2011;63(3):156-161.
6. Allanina L. M., Khairullina N. G., Zyleva N. V., Ruf Y. N., Permyakov A. V., Mikhailova M. N., Aleksanrovish G. V. Legal regulation of subsurface use – In Russia: Actual problems. *International Journal of Environmental and Science Education*. 2016;11(18):12471-12485.
7. Maralbaev A. O., Usupaev Sh. E. Legislation and regulatory framework and its improvement in subsoil use in Kyrgyzstan. *Gornyi Zhurnal*. 2016;8:28-32. DOI: [10.17580/gzh.2016.08.05](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.08.05)
8. *Argentina Mining Law*. URL: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mining-law/mining-law-2016/argentina> [Accessed: June 28, 2016]
9. *Ghana Mining Law*. URL: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/ghana/q-And-A> [Accessed: June 28, 2016]
10. *Madagascar Mining Law*. URL: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/madagascar/q-And-A> [Accessed: June 28, 2016]
11. *Tanzania Mining Act*. URL: [https://mem.go.tz/wp-content/uploads/2014/02/0013\\_11032013\\_Mining\\_Act\\_2010.pdf](https://mem.go.tz/wp-content/uploads/2014/02/0013_11032013_Mining_Act_2010.pdf) [Accessed: June 28, 2016]
12. *Code of the Republic of Kazakhstan "On Subsoil and Subsoil Use" of December 27, 2017*. Edilet (Justice) Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan
13. Есеналиев А. Е., Тоханова Р. Ж., Кожаниязов Е. И. Понятие государственного управления в области недропользования в Республике Казахстан. *Современные проблемы науки и образования*. 2013;(6):7.
14. *A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals*. URL: <https://www.court-housenews.com/wp-content/uploads/2019/06/minerals-strategy.pdf>
15. Ashley Stedman and Kenneth P. Green Survey of mining companies. *Fraser Institute Annual*. 2018. 86 p.
16. *Extractive Industries Transparency Initiative (Инициатива прозрачности добывающих отраслей)*. URL: <https://eiti.geology.gov.kz>
17. Berezhnaya L. I. Performance indicators of the Federal subsoil fund management. *Geologiya nefi i gaza*. 2009;(4):61–67.
18. Pasechnik O. S., Romanyuk L. V. The concept and functions of public administration in subsoil use. *Proceedings of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Yuridicheskie nauki*. 2016;2(68)(4):97-105.
19. Lektorova Yu. Yu. Sociology of public administration in the conditions of society informatization: regional experience. *Vestnik PNIPU*. 2016;(2):68–77.
20. Rud' V. V. Analysis of objects and economic and legal mechanisms for managing state ownership of the subsoil. *Razvedka i okhrana nedr*. 2009;(2):62-66.
21. Takhanova S. S. Subsoil management in the Republic of Buryatia. *Razvedka i okhrana nedr*. 2017;(9):3-10.

**Библиографический список**

1. Nikitina N. Mineral Resource Dilemma: How to Balance the Interests of Government, Local Communities and Abiotic Nature. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017;11(9):8632-8644. DOI: [10.3390/ijerph110908632](https://doi.org/10.3390/ijerph110908632)
2. *Peru Mining Law*. URL: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mininglaw/mining-law-2016/peru> [Accessed: June 28, 2016]
3. *The Chilean Copper Commission (COCHILCO), Ministry of Mining, Government of Chile* URL: <http://www.cochilco.cl/english/legislation/laws.asp> [Accessed: June 28, 2016]
4. *The Canadian Minerals and Metals Plan*. MinesCanada.ca. 52 с.
5. Strauch B., Korolchenko A. Mining activities in the focus of investors Common characteristics and differences of the German, French, Russian and Japanese mining law [Bergbau im Fokus der Investoren Gemeinsamkeiten und Unterschiede des deutschen, französischen, russischen und Japanischen Bergrechts]. *World of Mining – Surface and Underground*. 2011;63(3):156-161.
6. Allanina L. M., Khairullina N. G., Zyleva N. V., Ruf Y. N., Permyakov A. V., Mikhailova M. N., Aleksanrovish G. V. Legal regulation of subsurface use – In Russia: Actual problems. *International Journal of Environmental and Science Education*. 2016;11(18):12471-12485.
7. Maralbaev A. O., Usupaev Sh. E. Legislation and regulatory framework and its improvement in subsoil use in Kyrgyzstan. *Gornyi Zhurnal*. 2016;8:28-32. DOI: [10.17580/gzh.2016.08.05](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.08.05)
8. *Argentina Mining Law*. URL: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mining-law/mining-law-2016/argentina> [Accessed: June 28, 2016]
9. *Ghana Mining Law*. URL: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/ghana/q-And-A> [Accessed: June 28, 2016]
10. *Madagascar Mining Law*. URL: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/madagascar/q-And-A> [Accessed: June 28, 2016]
11. *Tanzania Mining Act*. URL: [https://mem.go.tz/wp-content/uploads/2014/02/0013\\_11032013\\_Mining\\_Act\\_2010.pdf](https://mem.go.tz/wp-content/uploads/2014/02/0013_11032013_Mining_Act_2010.pdf) [Accessed: June 28, 2016]
12. *Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» от 27.12.2017*. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Эділет.
13. Есеналиев А. Е., Тоханова Р. Ж., Кожаниязов Е. И. Понятие государственного управления в области недропользования в Республике Казахстан. *Современные проблемы науки и образования*. 2013;(6):7.
14. *A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals*. URL: <https://www.courthousenews.com/wp-content/uploads/2019/06/minerals-strategy.pdf>
15. Ashley Stedman and Kenneth P. Green Survey of mining companies. *Fraser Institute Annual*. 2018. 86 p.
16. *Extractive Industries Transparency Initiative (Инициатива прозрачности добывающих отраслей)*. URL: <https://eiti.geology.gov.kz>
17. Бережная Л. И. Показатели эффективности процесса управления федеральным фондом недр. *Геология нефти и газа*. 2009;(4):61–67.
18. Пасечник О. С., Романюк Л. В. Понятие и функции государственного управления в сфере недропользования. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Юридические науки*. 2016;2(68)(4):97-105.
19. Лекторова Ю. Ю. Социология государственного управления в условиях информатизации общества: региональный опыт. *Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки*. 2016;(2):68–77.
20. Рудь В. В. Анализ объектов и экономико-правовых механизмов управления государственной собственностью на недра. *Разведка и охрана недр*. 2009;(2):62-66.
21. Таханова С. С. Управление недрами Республики Бурятия. *Разведка и охрана недр*. 2017;(9):3-10.

**ORIGINAL PAPERS**

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-318-335

## **Обоснование внедрения категорийной стратегии закупок на уранодобывающих предприятиях**

**Б. К. Космуратов**

АО НАК «Казатомпром», г. Нур-Султан, Республика Казахстан

---

**Аннотация:** Актуальность работы обусловлена следующими основными предпосылками: необходимостью совершенствования закупочной деятельности в соответствии с задачами, поставленными Правительством Республики Казахстан, в которых указано на необходимость кардинального пересмотра подходов по проведению закупок в квазигосударственном секторе, сфере естественных монополий и недропользования; необходимостью оптимизации расходов компании и снижения себестоимости продукции в условиях высококонкурентной ситуации на рынке природного урана за счёт внедрения категорийной закупочной стратегии; необходимостью обеспечения эффективности и прозрачности закупочной деятельности Компании за счёт внедрения категорийной стратегии закупочной деятельности. Целью работы является обоснование эффективности реализации мероприятий по внедрению на уранодобывающих предприятиях системы категорийного управления закупочной деятельностью. Категорийная стратегия закупок – это внедрение совершенно нового механизма, который в отличие от действующей системы предусматривает достижение экономической эффективности в течение всего жизненного цикла товара, работы или услуги. Данная система внедряется впервые в Компании при полном отсутствии практики подобных реализаций в республике. В работе произведен анализ современного состояния закупочной деятельности уранодобывающих предприятий, выявлены и сегментированы проблемные зоны закупочной деятельности, определены направления ее оптимизации. Кроме того, произведено обоснование эффективности внедрения категорийной стратегии закупок на предприятии и разработаны мероприятия по формированию категорийной стратегии закупок в Компании по основным группам товаров.

---

**Ключевые слова:** категория закупок, закупочная категорийная стратегия, категорийный менеджер, оптимизация, уран, уранодобывающие предприятия

---

**Для цитирования:** Космуратов Б. К. Обоснование внедрения категорийной стратегии закупок на уранодобывающих предприятиях. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4):318-335. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-318-335

---

## **Justification of category procurement strategy implementation at uranium mining enterprises**

**B. K. Kosmuratov**

NAC Kazatomprom JSC, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

---

**Abstract:** The study relevance is supported by the following: the need to improve procurement activities in accordance with the tasks set by the Government of the Republic of Kazakhstan, which indicate the need for radical revision of approaches to procurement in the quasi-public sector, natural monopolies, and subsoil use sector; the need to optimize NAC Kazatomprom JSC (the Company)'s expenses and reduce the cost of production in highly competitive situation at the natural uranium market through implementing category procurement strategy; the need to ensure efficiency and transparency of the Company's procurement through the implementation of category procurement strategy. The study aim is to substantiate effectiveness of the category procurement strategy implementation at uranium mining enterprises. The category procurement strategy is a completely new approach, which, unlike the current system, provides for achievement of economic efficiency throughout the entire life cycle of a product, work, or service. This system is being implemented for the first time in the Company and has no analogues in the country. The paper analyzed the current state of procurement activities of the uranium mining enterprises, identified and segmented problem areas of the activities, determined directions of their optimization. In addition, effectiveness of the category procurement strategy implementation at the enterprise was substantiated, and measures were developed to form the category procurement strategy in the Company for the main groups of goods.

---





**Keywords:** procurement category, category procurement strategy, category manager, optimization, uranium, uranium mining enterprises

**For citation:** Kosmuratov B. K. Justification of category procurement strategy implementation at uranium mining enterprises. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):318-335. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-318-335

### Используемые в работе термины и сокращения

*Категория закупок (Категория)* – группа товаров и/или группа работ и/или услуг, которые не являются идентичными, при этом объединяются в одну группу на основании одинаковых характерных признаков или схожих атрибутов, технических и иных характеристик, обеспечивающих выполнение схожих функций. При объединении номенклатурных позиций товаров, пород и услуг (ТРУ) в Категорию закупок учитываются такие факторы, как наличие общего рынка поставщиков, одинаковая технология производства, принадлежность к одной сфере деятельности и пр.

*Закупочная категорийная стратегия* – документ, определяющий оптимальный подход к закупке товаров, работ и услуг исходя из максимизации выгод в долгосрочной или краткосрочной перспективе. Стратегия включает в себя выводы, сделанные на основе результатов проведенного Закупочной категорийной группой анализа расходов прошлых периодов, будущей потребности рынка поставок, требований бизнеса и т.п.

*Категорийный менеджер* – сотрудник, ответственный за анализ рынка потенциальных поставщиков, выявление резервов для повышения эффективности во внутренней и внешней среде, за анализ тенденций технологического развития, выработку решения по организации закупки и выбору поставщика, а также за разработку коммерческой части Закупочной категорийной стратегии.

*ДЗО* – дочерние зависимые предприятия, пятьдесят и более процентов голосующих акций (долей участия) которых прямо или косвенно принадлежат АО «НАК «Казатомпром»

на праве собственности или доверительного управления.

### Анализ существующих процедур организации закупок, мониторинг и аудит закупочных процессов на предприятии

Реализация моделей закупки в настоящее время – это масштабная экспертно-аналитическая задача с использованием методов и приемов анализа и обработки больших объемов данных, освещенная в ряде международных исследований [1–3]. Современные информационные технологии лежат в основе повышения эффективности закупочной деятельности и улучшения основных экономических показателей промышленного предприятия. Анализ передовых мировых практик в сфере закупочной деятельности промышленного предприятия позволяет реализовать экономическую концепцию создания прозрачного и конкурентного рынка [4–6].

Основной целью данной категорийной стратегии является получение экономических выгод на этапе проведения закупки путем снижения стоимости товаров поставщика за счет увеличения объемов закупки заказчика [7].

Процедура организации закупки выглядит следующим образом:

1. Определение единого Организатора для всех предприятий периметра ДЗО посредством направления соответствующего письменного уведомления в срок до трех рабочих дней с даты утверждения соответствующих изменений в категорийную стратегию управления.

2. Определение единым Организатором состава рабочей группы для проведения процедуры переговоров с потенциальными поставщиками.

3. Формирование единым Организатором необходимых составляющих для проведения процедуры переговоров с потенциальными поставщиками: направление приглашения поставщикам с учетом требований аттестации; ознакомление потенциальных поставщиков с условиями заказчиков, в том числе существенными условиями договоров; получение данных о ценовых предложениях потенциальных поставщиков; дополнительные процедуры по возможности снижения цен на топливо (при необходимости); формирование протокола итогов проведения переговоров с потенциальными поставщиками.

4. Согласование единым Организатором итогов переговоров и способа закупки с Фондом в течение пяти календарных дней со дня, следующего за днем поступления материалов закупок.

5. По факту получения согласования Фонда в течение одного рабочего дня единый Организатор направляет предприятиям периметра ДЗО пакет документов для проведения процедуры формирования и утверждения решения коллегиального исполнительного органа/наблюдательного совета.

6. В течение трех рабочих дней со дня получения решения коллегиального исполнительного органа/наблюдательного совета

предприятия периметра ДЗО заключают договор с поставщиком на поставку топлива согласно условиям, оговоренным в протоколе единого Организатора по факту проведения процедуры переговоров с потенциальными поставщиками.

Согласно вышеприведенным расчетам по анализу данных внутренней среды одним из необходимых элементов реализации первого этапа данной категорией стратегии – централизованных закупок – является разработка критериев проведения предварительной квалификации поставщиков (рис. 1) [8]. Указанные элементы необходимо применять для проведения закупочных процедур – первого этапа открытого тендера.

Процедура закупок любым из способов, регламентированных Правилами, в обязательном порядке предусматривает наличие проекта договора о закупке, который подписывается поставщиком – победителем закупки по факту признания его таковым.

Процедура консолидированных закупок предусматривает организацию закупок единым Организатором с последующим заключением договоров предприятиями периметра ДЗО [9, 10].

В качестве основы для выбора вида контракта рассмотрим схемы его организации (рис. 2).

№	Наименование документа	Требования	Вид документа	Обоснование применения
1	Ценовое предложение	Снижение стоимости от консолидации объемов	Анкета (по форме, предусмотренной тендерной документацией)	Снижение стоимости товара в общей сумме цены
2	Паспорт качества по продукции завода-изготовителя	Качество товара	Нотариально-засвидетельствованная копия	Подтверждение качества товара и статуса производителя товара
3	Технический паспорт на емкости или договор аренды	Хранение товара	Нотариально-засвидетельствованная копия	Наличие собственных или арендованных складских мощностей общим объемом не менее 100 тонн в сутки
4	Аккредитованная лаборатория (аттестат с приложением или договор оказания услуг)	Качество товара	Нотариально-засвидетельствованная копия	Гарантия приобретения товара, соответствующего заявленным в паспорте, сертификате и пр. требованиям
5	Ресурсная справка	Надежность поставок	Оригинал	Подтверждение производственной мощности: не менее 50 тонн в сутки дизельного топлива и 3 тонн в сутки – бензина
6	Справка налогового органа	Надежность поставок	Документ, выданный порталом налогового органа	Подтверждение положительной налоговой истории поставщика

Рис. 1. Критерии проведения предварительной квалификации поставщиков

Fig. 1. Supplier prequalification criteria

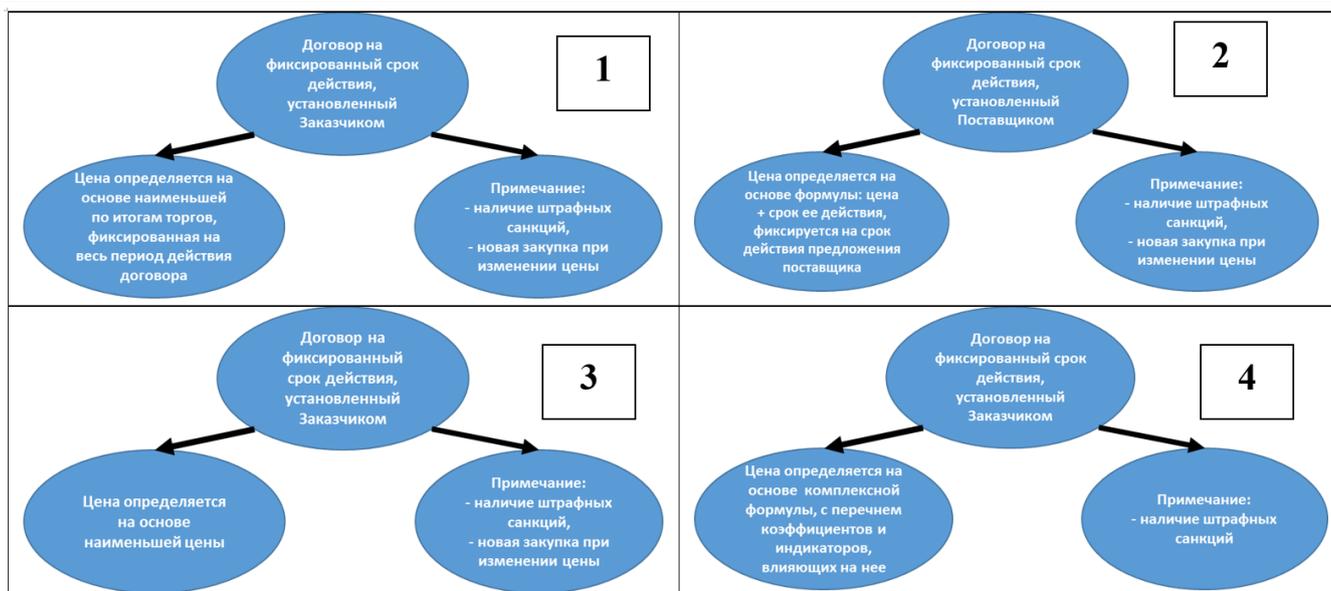


Рис. 2. Варианты выбора вида контракта

Fig. 2. Options for contract type selection

Наиболее приемлемым из перечисленных вариантов условий договоров является первый, так как срок его действия фиксируется, так же как и цена поставщика. Кроме того, внесение изменений в договоры в части увеличения стоимости товара не предусмотрено нормативно-правовыми актами, регулирующими закупочную деятельность предприятий периметра ДЗО [11, 12].

Данная категорийная стратегия рассчитана на получение экономического эффекта в течение ближайших 12 календарных месяцев с начала ее реализации, с учетом срока переходного периода. В связи с чем договор, как и сама закупка, должны предусматривать следующие условия, позволяющие реализовать стратегию в полном объеме:

- поставка товара осуществляется в течение года по заявкам единого Заказчика; отгрузка топлива по заявке производится в течение 10 (десяти) календарных дней со дня получения последней от единого Заказчика (условия основаны на опыте ведения поставок ТОО «Торгово-транспортная компания» и позволяют минимизировать расходы на хранение запасов топлива);

- оплата товара производится по факту его поставки (партии по заявке) в течение

20 (двадцати) операционных дней (снижение максимально возможных сроков оплаты способствует мотивации поставщика к участию в закупках);

- наличие штрафных санкций:

- в случае нарушения поставщиком сроков поставки товара поставщик обязан по требованию единого Заказчика выплатить пеню в размере 1 % от общей суммы договора за каждый календарный день просрочки до дня фактического исполнения поставщиком своих обязательств по договору, но не более 10 % от общей суммы договора;

- в случае поставки товара ненадлежащего качества поставщик обязан по требованию единого Заказчика уплатить штраф в размере 10 % от общей суммы договора.

Срок подписания договора зависит от решений исполнительных органов предприятий периметра ДЗО, утверждающих закупки согласно пп. 10 п. 138 Правил закупок с применением конкурентного отбора поставщика и на основании решения коллегиального исполнительного органа/наблюдательного совета (в случае отсутствия коллегиального исполнительного органа/наблюдательного совета органом управления/высшим органом



(общее собрание участников) Заказчика, но не более 25 календарных дней – п. 125 Правил.

При этом в случае необходимости единый Организатор на этапе проведения переговоров с потенциальными поставщиками вправе применить альтернативные условия реализации категорийной стратегии по вариативным критериям (условия оплаты, сроки поставки товара, объём поставки и пр.), за исключением отсекающих – имеющих непосредственное отношение к критериям определения соответствия поставщиков требованиям категорийной стратегии (аттестация поставщиков, качество товара) [13, 14].

Приемка товаров на предприятиях периметра ДЗО осуществляется путем внутреннего контроля и контроля качества на предприятии на основе собственных внутренних документов.

Указанные документированные процедуры по организации приемки товаров учитывают требования систем менеджмента качества, профессиональной безопасности и охраны труда, а также экологического менеджмента. При необходимости создаётся соответствующая комиссия, осуществляющая приемку товара всем общим составом. В случае возникновения необходимости проведения анализа качества жидких товаров, поставляемых в емкостях, привлекается независимая аккредитованная лаборатория.

Определенное внимание уделяется технике безопасности приемки товаров, их осмотру, отгрузке, хранению и пр.

Способы оценки недостатков текущей деятельности заключаются в следующем. Мониторинг отчетов по исполнению договоров о закупках топлива предприятий периметра ДЗО выявил недостатки в части приобретения однородных видов товаров по нескольким местам поставки по различным ценам.

Мониторинг организации закупок предприятий периметра ДЗО выявил слабые стороны в процедурных моментах их реализации, в части отсутствия возможности покупателей приобретать товары с проведением предвари-

тельной аттестации поставщиков по более существенным условиям, не предусмотренным в утвержденных регламентирующих документах (во избежание посредников).

Основной целью разработки категорийной стратегии является устранение недостатков в закупочных процессах предприятий периметра ДЗО посредством проведения централизованных закупок. Данный рычаг реализации категорийной стратегии позволит нормализовать процесс планирования закупок, повысив его эффективность, а также снизить расходы при наличии равноценной стоимости однородных видов топлива для всех ДЗО.

Оптимизация потребности расходов топлива, как самостоятельный этап данной категорийной стратегии, базируется на необходимости нормирования расходов топлива, что при наличии соответствующих запасов и при тех же условиях производственной эксплуатации позволит снизить его потребление.

Автоматизация процессов учета, а также выписки путевых листов для транспортных средств, внедрение решений по увеличению эффективности и изменению внутренних процессов способствуют мониторингу расходов топлива и контролю его запасов, а также минимизируют уровень потерь. Реализация данной категорийной стратегии требует определенных затрат предприятий периметра ДЗО, их структура рассмотрена ниже. При этом необходимо отметить, что возникновение этих затрат зависит от присутствия соответствующих условий в нормативно-правовых актах [15, 16].

Реализация категорийной стратегии основана на организации консолидированных закупок посредством нескольких мест поставки – филиалов, что приведёт к возникновению изменений в схемах поставки товара для некоторых предприятий, транспортировка которым осуществлялась напрямую поставщиками топлива.

**Анализ структуры и объемов закупок ГСМ и разработка приоритетных направлений реализации категорийной стратегии**

АО «НАК «Казатомпром» – ведущая мировая компания, осуществляющая добычу урана способом подземного скважинного выщелачивания [17–19].

Основными критериями целей закупочной категорией стратегии являются: приобретение качественных товаров, работ и услуг (ТРУ), максимизация экономического эффекта при их закупке и использовании, технологическое усовершенствование, прозрачность критериев выбора потенциального поставщика, управление рисками.

Последовательность разработки закупочных категорией стратегий определяется критичностью категорий закупок.

Закупки ГСМ (топливо) относятся к категории закупок группы «А» и имеют достаточно высокий уровень критичности для предприятий АО «НАК «Казатомпром» (рис. 3) [20, 21].

Разработка категорией стратегии по топливу обеспечивает около 90 % производственных процессов ДЗО периметра (включая расходы на ГСМ по картам и талонам) и способна обеспечить достижение экономического эффекта в ближайшие 12 месяцев (крат-

кие сроки), а также реализовать высокую тиражируемость применения по предприятиям АО «НАК «Казатомпром».

АО «НАК «Казатомпром», как и все зависимые предприятия, не включенные в периметр ДЗО данной категорией стратегии, осуществляют закупки ГСМ (топливо) согласно действующим нормативно-правовым актам, регулирующим процесс осуществления закупок.

Объемы затрат СП на приобретение топлива достаточно значительны и в случае достижения положительного эффекта тиражирование данной категорией стратегии также возможно к применению в рамках требований нормативно-правовых актов, регулирующих действия этих предприятий. Реализация категорией стратегии в рамках действующих Правил для данных предприятий не представляется возможной.

Приоритетным направлением данной категорией стратегии является снижение совокупных прямых и косвенных затрат применения ГСМ, включая стадию закупки и процессы контроля и мониторинга его расходования. Поэтому цели и задачи данной категорией стратегии распределены по трем основным этапам (рис. 4).



Рис. 3. Анализ уровня критичности закупок товаров предприятиями АО «НАК «Казатомпром»

Fig. 3. Analysis of criticality level of purchases at enterprises of NAC Kazatomprom JSC



Рис. 4. Основные этапы реализации категорийной стратегии закупок ГСМ

Fig. 4. The main stages of implementation of category procurement strategy for fuels and lubricants

Реализация первого этапа – снижение закупочных цен посредством консолидации объемов и унификации технических характеристик и мест поставки, в том числе путем исключения посредников среди поставщиков топлива. С этой целью процесс консолидации объемов закупок рассматривается как объединение потребности топлива в количественном выражении для проведения централизованных закупок единым организатором посредством проведения закупки на условиях поставки перевалочных баз ТОО «Торгово-транспортная компания»: ст. Шиели, Кызылординская область, и ст. Жанатас, Южно-Казахстанская область. При этом подписание договора с поставщиком топлива и мониторинг его исполнения осуществляются каждым ДЗО периметра самостоятельно.

Два последующих этапа стратегии, указанных в вышеприведенной схеме, являются перспективой развития данной категорийной стратегии и подлежат внедрению по факту завершения первого ее этапа, что позволит достичь значительного положительного эффекта в полном цикле применения топлива – от закупки до физического потребления.

Для определения существующего расхода в периметре ДЗО: расходы, потребление, качественные показатели топлива и прочее, необходимо провести анализ внутренней среды.

Анализ ретроспективных затрат показывает значительные расходы периметра ДЗО на приобретение дизельного топлива летнего, которое используется в том числе непосредственно в производственных процессах.

Согласно данным проведенного анализа наблюдаются следующие тенденции:

- снижение уровня расходов на приобретение бензина АИ-80 ввиду снижения его производства на заводах-производителях и, соответственно, потребления предприятиями периметра ДЗО;

- указанная тенденция естественно повлияла на увеличение расходов по закупкам бензина АИ-92(93) – более дорогой и качественный аналог первого вида топлива;

- снижение уровня расходов на приобретение дизельного топлива обоих видов продиктовано климатическими изменениями – теплый зимний период, а также фактическим снижением цен на данный вид ГСМ, физический объем потребления в большинстве случаев остался без изменений.

Результаты анализа внутренней структуры поставок топлива на основе данных последнего финансового года позволили сделать следующие выводы.

Предприятия периметра ДЗО осуществляют самостоятельную работу по определению стоимости топлива, выбору способа заку-

пок и периодичности их проведения, установлению уровня соответствия поставщика топлива требованиям заказчика и пр. При этом необходимо отметить, что основные поставки топлива осуществляются посредством нескольких мест – перевалочных баз ТОО «Торгово-транспортная компания».

Исторические данные периметра ДЗО (заключенные договоры) по закупкам топлива, в том числе в 2015 г., характеризуют отсутствие определенностей: в ценовом диапазоне – колебания стоимости топлива достигают 66%; в диапазоне взаимодействия ДЗО периметра находятся поставщики разного уровня происхождения – от непосредственных производителей топлива до посредников.

Предлагается провести анализ этих данных и определить закономерности установления цен и стратегии поставщиков по работе с предприятиями периметра ДЗО.

Сведения о средневзвешенных ценах поставщиков по поставкам четырех видов топлива показывают, что предприятия периметра ДЗО приобретают однородные виды товаров по различным ценам с учетом одинаковых мест поставки.

Кроме того, огромное значение для определения поставщика топлива имеют процедуры проведения закупок, определенные Правилами:

1) неоднократное проведение закупок способом открытого тендера, ввиду признания их несостоявшимися по тем или иным причинам (отсутствие заявок, признание их несоответствующими требованиям заказчиков и пр.);

2) проведение закупок способом из одного источника как по факту признания открытого тендера несостоявшимся, так и на период ежедневной /еженедельной потребности;

3) заключение многочисленных договоров на поставку топлива исходя из первых двух перечисленных причин с различными поставщиками;

4) установление различных значений цен на стоимость ГСМ, ввиду реализации условий пп. 1, 2, 3, при наличии одинаковых мест поставки.

Анализ парка оборудования, его характеристик и производственных показателей позволил выявить его структуру и объемы.

Оценка основных источников потребления топлива, рассматриваемого в данной категорией стратегии, позволит изучить необходимость снижения расходов, а также его совершенствования путем нормирования.

Таким образом, совершенствование процесса нормирования потребления топлива, в том числе указанными источниками, будет способствовать снижению расходов ДЗО на приобретение ГСМ, что соответствует 2-й и 3-й цели данной категорией стратегии и возможно на следующих этапах реализации – по факту завершения процесса консолидации закупок.

Для реализации категорией стратегии необходимо рассмотреть методы пополнения запасов, а также необходимость наличия и объемов страховых/аварийных запасов.

Анализ представленных данных по ёмкостному оснащению перевалочных баз позволяет судить о том, что разные виды топлива разливаются по соответствующим независимым емкостям, что также способствует увеличению пропускной способности баз и возможности обеспечения топливом в самые пиковые моменты. ТОО «Торгово-транспортная компания» имеет достаточные складские мощности, в том числе для хранения дополнительных объемов топлива ДЗО (страховые или аварийные запасы).

С целью оценки определения уровня покрытия возможностей перевалочных баз в пиковые периоды потребления (сезонность) проведен анализ прихода и расхода топлива в один из таких месяцев – сентябрь (уборочный период и подготовка к отопительному сезону).

На основании представленных данных можно сделать следующие выводы:

- для анализа получены данные по дизельному топливу летнему, являющемуся самым востребованным видом топлива в периметре ДЗО;

- складские мощности перевалочных баз имеют достаточные возможности покрытия



потребностей предприятий периметра ДЗО для хранения/переработки/потребления необходимого объема топлива даже в самые пиковые периоды.

Ранее отмеченные факты неритмичности как прихода, так и расхода топлива (корректировка и баланс запасов), возможно наладить после разработки и внедрения модели пополнения запасов, способствующей удовлетворению потребностей предприятий периметра ДЗО и снижению необходимости замораживания оборотного капитала для хранения излишних запасов топлива. Использование емкостей для двух видов топлива (зимнего и летнего) в соответствующие сезоны позволяет применять единую модель пополнения запасов.

Однако разработка модели пополнения запасов в настоящий момент является нецелесообразной ввиду планируемого проведения консолидации объемов закупок и будет уместна в рамках внедрения второго этапа категорийной стратегии – нормирования потребления.

Таким образом, проведенный анализ внутренней среды позволяет говорить о том, что предприятия периметра ДЗО проводят неоднократные процедуры закупок топлива в силу признания последних несостоявшимися по различным причинам (отсутствие заявок поставщиков, отказ от поставок и пр.). Кроме того, рыночные колебания цен, в том числе на сырье, девальвация и прочие внешние обстоятельства также способствуют увеличению количества закупок и, соответственно, увеличению количества поставщиков топлива, что предполагает отсутствие экономии по стоимости топлива (при наличии однородных мест поставки товара) и наличие претензий к качественному его составу (смешивание топлива различных поставщиков/производителей). Кроме того, поставка топлива включает в себя оплату налога – акциза, который также включается в стоимость товара, предназначенного для дальнейшей транспортировки ТОО «Торгово-транспортная компания» на предприятия периметра ДЗО.

На основании изложенного реализация процедуры консолидации закупок имеет достаточный потенциал для получения определенных эффектов, что позволит решить многие вопросы и достичь значительных положительных результатов:

- снижение стоимости товара (получение скидки) при увеличении (консолидации) объема его закупки;

- установление единой цены по однородным местам поставки на одинаковый товар для всех ДЗО;

- сотрудничество с производителями малой мощности (до 800 тыс. т в год) в регионе местоположения предприятий периметра ДЗО (Южно-Казахстанская и Кызылординская области), что позволит снизить расходы поставщиков-производителей на доставку топлива;

- реализация категорийной стратегии посредством использования перевалочных баз ТОО «Торгово-транспортная компания», так как возможности последних позволяют обеспечить предприятия периметра ДЗО топливом, в том числе на период сезонных обострений (посевная/уборочная кампании, а также отопительный сезон);

- исключение оплаты дополнительного акцизного сбора ввиду назначения ТОО «Торгово-транспортная компания» организатором закупки (изменение роли поставщика), а также заключение договора на поставку топлива ДЗО непосредственно с поставщиком – победителем закупки – позволят получить выгоду от управления поставками ГСМ, в том числе экономическую.

**Анализ состояния внешней среды, ее структуры, каналов сбыта и формирование портфеля приоритетных поставщиков для проведения закупочных процедур на целевом рынке ГСМ**

Существующая схема поставки топлива (рис. 5) имеет свои особенности. Производители топлива (НПЗ) не имеют собственных источников сырья, последнее они приобретают с целью дальнейшей реализации готового продукта или

перерабатывают давальческое сырье и возвращают полученное топливо владельцам. Оптовый поставщик топлива вправе купить его у производителя и осуществлять продажу только розничным (АЗС) или конечным оптовым потребителям. Основной проблемой в производстве топлива является государственное регулирование путем утверждения графиков поставки нефти, графиков ее переработки (кроме НПЗ малой мощности – 800 тыс. т в год).

Определение портфеля приоритетных поставщиков для проведения закупочных процедур производится следующим образом. Конкурентной средой поставщиков для реализации данной категорийной стратегии управления ГСМ (топливо) являются производители, а именно миниНПЗ.

Согласно историческим данным предприятий периметра ДЗО основная доля поставок топлива приходится на оптовых поставщиков (посредников) топлива.

Закупки ГСМ проводятся среди различных категорий поставщиков и по разным ценам, что предполагает наличие потенциала для проведения процедуры консолидации закупок.

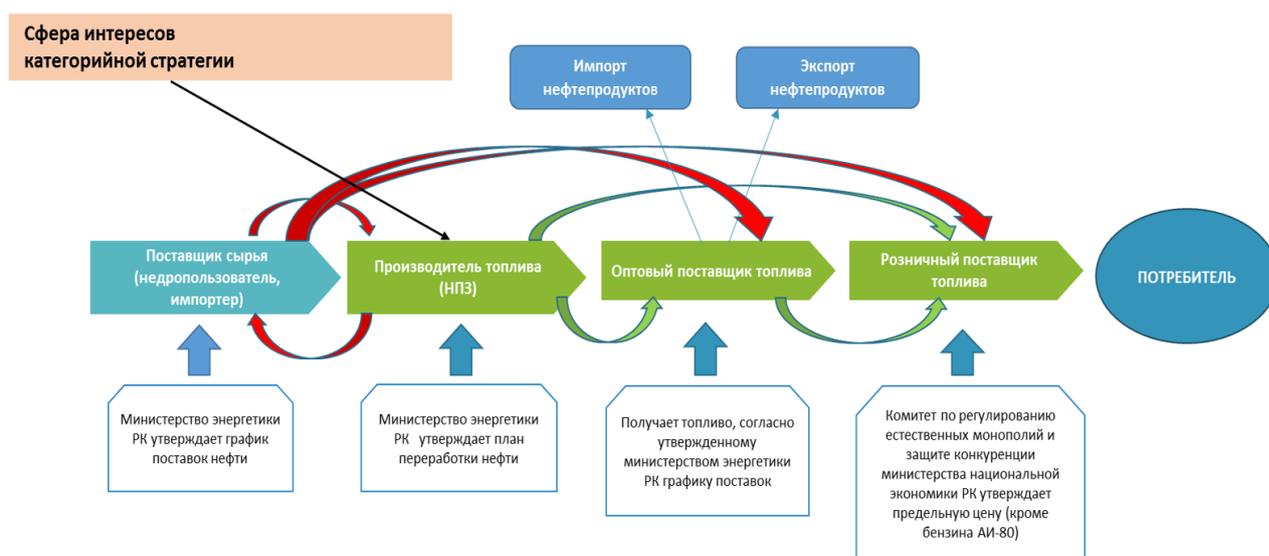
При этом сотрудничество непосредственно с производителями топлива способствует исключению посредников в процессе поставки топлива

и позволяет добиться определённых скидок по стоимости товара, а также уменьшить уровень затрат на его транспортировку.

Разработка данной категорийной стратегии основывается на построении взаимовыгодных отношений с поставщиком(ами), не только способным предложить скидки по стоимости товара, но и осуществляющим поставки качественного топлива в оговоренные сроки.

На сегодняшний день на топливном рынке Республики Казахстан ведущая роль в производстве топлива принадлежит трем крупным нефтеперерабатывающим заводам.

1. Павлодарский нефтехимический завод (ПНХЗ) – крупнейшее в Казахстане предприятие по переработке нефти, производству и реализации нефтепродуктов. ПНХЗ выпускает бензин, дизельное, реактивное топливо, мазут, газ, нефтяной битум, кокс и серу. Проектная мощность завода составляет 7,5 млн т нефти в год. Глубина переработки нефти – около 85 %. Акционерами ПНХЗ являются ТОО Refinery Company RT (дочернее предприятие АО «КазМунайГаз – переработка и маркетинг») – 58 % акций, и АО ФНБ «Самрук-Казына» – 42 % акций.



**Рис. 5. Анализ особенностей существующей схемы поставки топлива и сфера интересов категорийной стратегии**

**Fig. 5. Analysis of the features of the existing fuel logistic structure and the area of interest for category strategy**



2. Шымкентский нефтеперерабатывающий завод (ШНПЗ) ТОО «ПетроКазахстан Ойл Продактс» (ПКОП) с мощностью до 6 млн т в год. Построенный в 1985 г., завод является самым новым из трех НПЗ Казахстана. ШНПЗ обеспечивает около 35 % от общего объема производства нефтепродуктов в Республике Казахстан. Доля АО «КазМунайГаз – переработка и маркетинг» в ПКОП составляет 49,7 %, CNPC принадлежит 50,3 %.

3. Проектная мощность переработки нефти ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод» (АНПЗ) составляет 5 млн т в год. 99,5 % доли участия в АНПЗ принадлежит АО «КазМунайГаз – переработка и маркетинг».

Все вышеуказанные заводы не продают изготовленное топливо напрямую, так как не являются владельцами сырья. Основным источником их жизнедеятельности является переработка давальческого сырья. Кроме того, данные предприятия имеют свой собственный график отгрузок готового топлива, который не зависит от потребностей предприятий-заказчиков, что может привести к затовариванию последних в случае получения полного объема произведённого топлива одновременно.

Среднегодовой объем потребления дизельного топлива в Казахстане составляет 4,7 млн т в год. Три казахстанских НПЗ ежегодно отгружают 4–4,2 млн т дизельного топлива. Недостающие 300–600 тыс. т – импортируются из России. Рынок поставок топлива данных поставщиков уже распределен и внедрение в его ряды представляется достаточно проблематичным по причине незаинтересованности крупных производителей топлива в объемах закупок, в том числе периметра ДЗО – не более 0,6 % от общего объема крупных НПЗ.

В связи этим основная поставка произведённого ими топлива осуществляется посредством их дистрибьюторов/дилеров и прочих посредников. Работа с посредниками данных заводов сопряжена с риском возникновения ситуаций разбавления топлива, что представляет угрозу для дальнейшего его применения, в том

числе при перевозках опасных грузов. Также при наличии соответствующей маржинальной составляющей данных посредников стоимость товара увеличивается, в том числе на размер акциза, который содержится в дальнейших поставках потребителям, в том числе для ДЗО.

Кроме того, опыт работы с указанными поставщиками сопряжен с проблемами в реализации поставок топлива. Так, на примере закупок ТОО «Торгово-транспортная компания», выявлено недобросовестное отношение поставщика, признанного победителем закупки по итогам открытого тендера № 78-16 (261779) – ТОО «Ocean Trade». Указанный поставщик предлагал к поставке топливо производства ТОО «ПетроКазахстан Ойл Продактс», но на этапе подписания договора отказался от последнего. По устному заявлению представителя ТОО «Ocean Trade» отгрузка топлива невозможна, ввиду отказа соответствующего завода отгрузить топливо.

Внутренние мощности нефтепереработки на трех базовых НПЗ – основной, однако не единственный источник предложения на топливном рынке Республики Казахстан. Свою скромную лепту вносят и отечественные мини-заводы. За июнь 2016 г. объемы отгрузки миниНПЗ упали на 51,2% по сравнению с показателем мая 2016 г. По итогам июля 2016 г. отгружено лишь 11 779 т дизельного топлива.

Согласно данным, представленным предприятиями периметра ДЗО, последние имеют положительный опыт работы с поставками миниНПЗ, как по качеству топлива, так и по цене. К таким предприятиям относятся: ТОО «B.N. GASOIL PROCESSING», ТОО «Жарас», ТОО «Амангельдинский ГПЗ», ТОО «КНПЗ».

В пользу сотрудничества с миниНПЗ стоит рассмотреть следующее:

- близость к местам расположения предприятий периметра ДЗО (Южно-Казахстанская и Кызылординская области);
- отсутствие претензий по качественным характеристикам топлива (согласно данным ДЗО);

- возможность покрытия необходимых для предприятий периметра ДЗО объемов.

Для дальнейших расчетов экономического эффекта процедуры консолидированных закупок, необходимо определить параметры прогнозирования.

Процесс реализации централизованных закупок включает в себя конечные мероприятия – заключение договора и поставку товара согласно заявке заказчика (ДЗО). С этой целью необходимо проработать вопрос о планировании объемов поставок по вышеуказанным заявкам, дабы исключить замораживание оборотного капитала поставщика и затоваривания перевалочных баз ТОО «Торгово-транспортная компания» излишками топлива в случае одновременной подачи заявок на большой

объем (превышающий необходимость) многими из заказчиков.

Таким образом, согласно приведенной схеме ТОО «Торгово-транспортная компания» согласует заявки ДЗО на поставку топлива прежде, чем они будут направлены непосредственно поставщику товара для исполнения. Данный мониторинг поставок топлива способствует равномерному распределению объемов по заказчикам и созданию только необходимого уровня его запасов.

Кроме того, немаловажным фактором является транспортная зависимость поставок топлива в ДЗО от месторасположения поставщиков. Для оценки зависимости транспортной составляющей в поставках топлива проведена работа по анализу месторасположения баз отгрузки топлива (рис. 6).

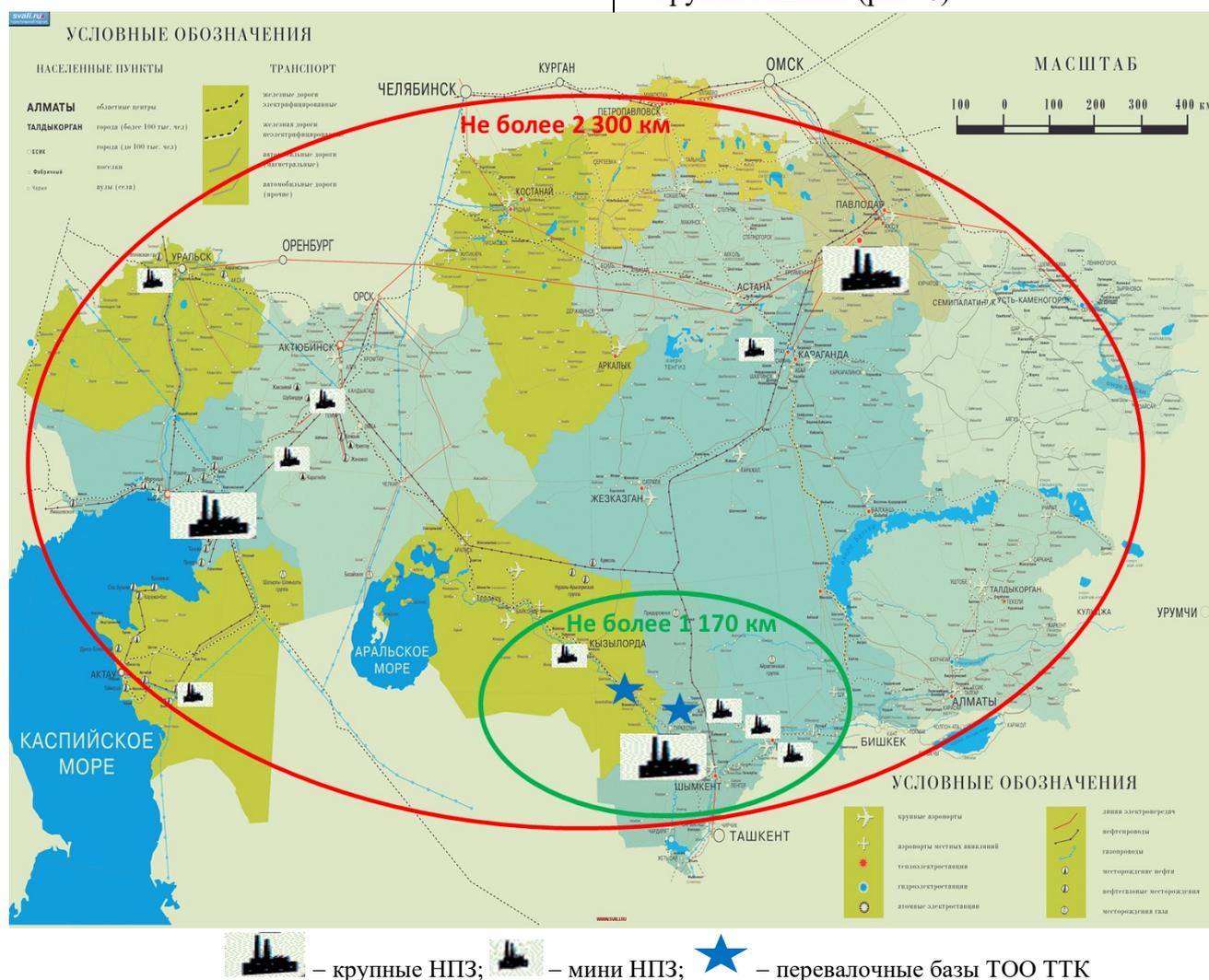


Рис. 6. Анализ месторасположения баз отгрузки топлива

Fig. 6. Analysis of the fuel shipment bases location



На представленной карте отражены два положения ДЗО, при которых транспортировка поставщиком топлива является неэффективной (дорогостоящей и продолжительной – большой круг) и эффективной (приемлемой и краткосрочной – малый круг).

Так как поставка товара по данной стратегии предполагает консолидацию объемов посредством двух перевалочных баз ТОО «Торгово-транспортная компания», заводы-изготовители (поставщики топлива) рассматриваются в двух вариантах возможного развития сценариев:

Отбор поставщиков топлива в пределах 1170 км – основой данного выбора является гипотеза о том, что при реализации данного отбора стоимость транспортировки поставщика значительно отразится на уровне экономического эффекта в сторону его снижения, т.е. чем больше удаленность поставщика от перевалочных баз по централизованным закупкам, тем меньше экономический эффект ввиду увеличения стоимости транспортировки.

При расположении поставщика топлива в периметре до 2300 км от перевалочных баз по централизованным закупкам вероятность получения какого-либо экономического эффекта меньше.

Таким образом, наибольший эффект может быть достигнут при взаимодействии с поставщиками, удаленность которых не превышает 1700 км.

Анализ поставок ГСМ по периметру ДЗО позволил выделить группу поставщиков миниНПЗ, включенных в определенную область транспортировки, которая наиболее, а то и полностью, удовлетворяет общую потребность в топливе всех ДЗО. К таковым относятся: ТОО «Жарас», ТОО «КМНПЗ», ТОО «КНПЗ», ТОО «B.N. GASOIL PROCESSING». Далее рассмотрим долю потребления периметра ДЗО в общем объеме производства вышеуказанных поставщиков на основе данных предприятий периметра ДЗО и анкетных данных, представленных вышеуказанными поставщиками.

Необходимо отметить, что левая часть нижеприведенных графиков (столбец) отражает нынешнюю ситуацию в производственных процессах поставщика, тогда как его правая часть (столбец) – показывает изменение в объемах производства топлива поставщика при наличии контрактов с предприятиями ДЗО периметра. На примере поставщика ТОО «Жарас» рассмотрим общий подход к анализу доли и объемов поставок ГСМ в рамках категорийной стратегии. Согласно приведенным данным ТОО «Жарас» является производителем всех четырех видов топлива, рассматриваемых в данной категорийной стратегии. При этом минимальное прогнозное значение доли предприятий периметра ДЗО в общем объеме производства поставщика до консолидации объемов закупок составляет 9%, тогда как после реализации данной процедуры это значение увеличивается до 50%, что предполагает наличие высокого влияния предприятий периметра ДЗО на производство поставщика (источник: анкетные данные поставщика).

Для оценки возможностей поставщиков обеспечить потребности предприятий периметра ДЗО необходимо рассмотреть требуемый объем топлива в разрезе мест поставки (лотов), что возможно определить на основании соответствующих закупок 2017 г.

По дизельному топливу зимнему данные об объемах производства ТОО «B.N. GASOIL PROCESSING» неизвестны.

Географическое расположение завода ТОО «Жарас» (г. Жанатас) позволяет покрыть потребность поставок всех видов топлива периметра ДЗО.

Географическое расположение завода ТОО «КНПЗ» (г. Каратау) позволяет покрыть потребность поставки дизельного топлива летнего только в ст. Жанатас – согласно объему производства поставщика.

Географическое расположение завода ТОО «КМНПЗ» (г. Кызылорда) позволяет покрыть потребность поставки дизельного топлива летнего только в ст. Шиели – согласно объему производства поставщика.



Таким образом, согласно вышеприведенным расчетам можно рассматривать ТОО «Жарас» в качестве основного поставщика топлива в 2017 г. для предприятий периметра ДЗО как по объемам производства, так и по территориальному месторасположению.

При этом присутствует небольшой риск несвоевременной поставки товара и/или отказа от поставки товара ввиду срыва производства топлива (ремонтные работы, авария, отсутствие сырья и прочее), невозможности осуществления транспортировки готового продукта (отсутствие или поломка техники и прочее) и др.

В связи с чем в качестве «подушки безопасности» при реализации вышеуказанных рисков можно рассмотреть наличие поставщиков № 2 по итогам определения победителя закупки.

С этой целью наиболее подходящими поставщиками № 2 являются:

- ТОО «B.N. GASOIL PROCESSING» для поставки дизельного топлива летнего;
- ТОО «КНПЗ» для поставки бензина АИ-92 и дизельного топлива летнего;
- ТОО «КМНПЗ» для поставки бензина АИ-80 и дизельного топлива летнего.

Необходимо отметить, что поставщик ТОО «B.N. GASOIL PROCESSING» находится в зоне отдаленности от перевалочных баз, предназначенных для проведения процедуры консолидации закупок, что предполагает высокий уровень транспортных расходов в составе цены. Для получения экономического эффекта при работе с данным поставщиком скидка, предоставляемая последним, должна быть значительной.

В случае отказа указанных поставщиков от поставки товара необходимо проведение повторных процедур закупок.

Кроме того, для снижения возможности реализации вышеуказанных рисков необходимо установление соответствующих критериев отбора для проведения предварительной аттестации поставщиков, в том числе уровня производства товара (соответствия объему Заказчиков), наличия достаточного объема

складских мощностей для хранения топлива (емкости), а также подтверждение качества производимого товара (экспертиза или оценка аккредитованной лаборатории).

Согласно имеющимся данным анкет производителей товаров проведен SWOT-анализ потенциальных поставщиков (сильные и слабые стороны компании, благоприятные возможности и внешние угрозы). Проведенный SWOT-анализ позволяет оценить возможности этих поставщиков удовлетворить потребности ДЗО как по качеству товара, так и по показателю его стоимости. На основании указанных сведений возникает возможность составления и оформления перечня квалификационных требований для проведения предварительной аттестации поставщиков для проведения соответствующих закупок среди этой группы участников закупок.

Таким образом, местоположение поставщика (место отгрузки его топлива) будет способствовать снижению показателя экономического эффекта минимум на 25% при выборе наиболее близкого по географическому расположению поставщика, или его полному исключению – соответственно наиболее отдаленному местонахождению поставщика от баз консолидации для поставки товаров.

При этом нижеприведенный расчет (табл. 1) прогнозного значения экономического эффекта на условиях DDP (Incoterms 2010) необходимо считать оптимистичным вариантом, отражающим обязательную транспортную составляющую в общем объеме достигнутого результата (выгоды).

Соответствующие расчеты необходимо актуализировать по итогам закупки: определение победителя (стоимость его транспортировки товара) и стоимости ГСМ.

Организация централизованных закупок, как уже отмечалось ранее, базируется на требованиях Правил. Схема организации закупок по данной категориейной стратегии представлена на рис. 7.

Таблица 1

## Расчет прогнозного значения экономического эффекта на условиях DDP (Incoterms)

## Calculation of predicted value of economic effect under DDP terms (Incoterms)

Прогнозируемый экономический эффект на условиях EXW (Incoterms), млн тенге	Средний прогнозный показатель транспортировки ТОО «Жарас»	Прогнозируемый экономический эффект на условиях DDP (Incoterms), млн тенге	Объем закупок по плану 2017 г. DDP (Incoterms), млн тенге	Доля прогнозируемого эффекта на условиях DDP (Incoterms) от плана закупок, %
386,03	109,03	276,99	4 431,89	6,2%

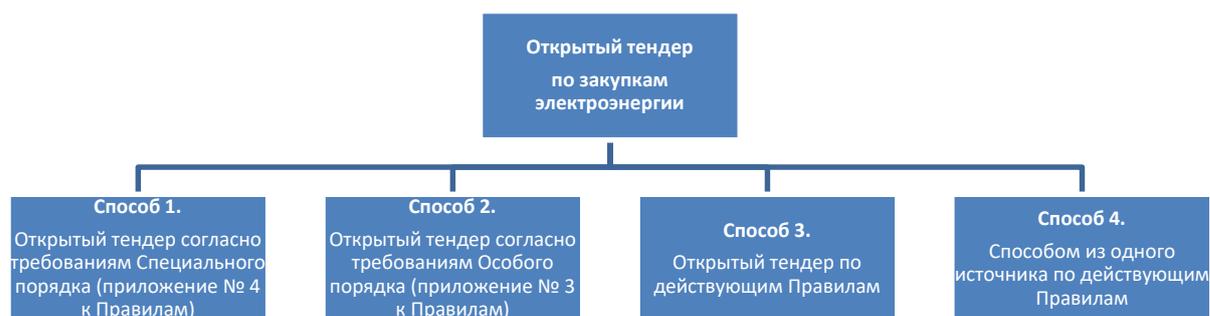


Рис. 7. Способы реализации закупочной стратегии

Fig. 7. Approaches to procurement strategy implementation

Способ 1. Основной целью данной категорийной закупочной стратегии является приобретение электроэнергии по единым ценам путем консолидации объемов ДЗО посредством назначения единого Организатора закупки. Требования Специального порядка предусматривают подобные действия, в том числе с возможностью проведения закупки на бумажных носителях – вне электронной площадки ТОО «Самрук-Казына Контракт».

Недостатки данного способа проведения закупки:

- дополнительные расходы ДЗО ввиду необходимости личного присутствия на всех этапах тендера (вскрытие, допуск, рассмотрение заявок и предложений, подведение итогов) – только при организации закупки на бумажных носителях;

- снижение уровня прозрачности закупки.

Способ 2. Особый порядок предусматривает необходимость наличия приобретаемых товаров в Перечне товаров, работ, услуг, закупаемых у квалифицированных потенциальных поставщиков, утвержденном Правлением

Фонда АО «Самрук-Казына». Схема организации закупки аналогична способу 1.

Недостатки данного способа проведения закупки:

- трудоемкие и длительные условия для проведения предварительного квалификационного отбора поставщиков;

- дополнительные расходы поставщиков на прохождение предварительного квалификационного отбора поставщиков.

Реализацию данного способа разрешается заменить условиями проведения закупки по Специальному порядку.

Способ 3. Требования действующих Правил закупок не содержат возможности проведения централизованных закупок непосредственно портфельными компаниями – АО «НАК «Казатомпром». Кроме того, электронная площадка ТОО «Самрук-Казына Контракт» также не оснащена функциями консолидации объемов различных ДЗО. В связи с чем использование данного способа закупок не представляется возможным.



Схема организации закупки аналогична способу 1.

Способ 4. Порядок осуществления закупочной деятельности регламентируется «Правилами закупок товаров, работ и услуг акционерным обществом «Фонд национального благосостояния «Самрук-Қазына» и организациями, пятьдесят и более процентов голосующих акций (долей участия) которых прямо или косвенно принадлежат АО «Самрук-Қазына» на праве собственности или доверительного управления (далее – Правила)», утвержденными решением СД АО «Самрук-Қазына» №126 от 28 января 2016 г. В соответствии с Выпиской из протокола очного заседания Правления АО «Самрук-Қазына» №35/26 от 26 сентября 2016 г. утверждены Стандарты по управлению закупочной деятельностью и принято решение о том, что Заказчикам необходимо осуществлять закупки товаров, работ и услуг в соответствии с действующим порядком, до признания Правил утратившими силу в установленном порядке.

#### **Заключение**

В ходе проведенных исследований объективно показана необходимость совершенствования закупочной деятельности в соответствии с задачами Правительства РК, а также оптимизации расходов компании и снижения себестоимости продукции в условиях высококонкурентной ситуации на рынке природного урана за счёт внедрения категорийной закупочной стратегии. Все это должно обеспечить эффективность и прозрачность закупочной деятельности Компании за счёт внедрения категорийной стратегии.

В работе рассмотрены принципы внедрения совершенно нового механизма (категорийной системы закупок), который в отличие существующей (действующей) системы предусматривает достижение экономической эффективности в течение всего жизненного цикла товара, работы или услуги. Данная система внедряется впервые в Компании при полном отсутствии практики подобных реализаций в республике.

Материал работы доведен до уровня методических рекомендаций по внедрению новой системы закупок по отдельным видам товаров, работ и услуг для дочерних организаций Компании.

Настоящая стратегия управления категорией ГСМ разработана для системы предприятий АО «НАК «Казатомпром» с целью получения экономических выгод при обороте полного цикла применения ТРУ: от момента его приобретения и до полного использования. Управление данными категориями товаров позволит организовать все процедуры его жизнедеятельности в производственных процессах предприятий АО «НАК «Казатомпром», а также определить единый порядок по приемке, хранению и контролю расхода ТРУ.

На основании изложенного можно сделать вывод, что реализация процедуры консолидации закупок имеет достаточный потенциал для получения определённых эффектов, которые позволят решить многие вопросы и достичь значительных положительных результатов: снижение стоимости товара (получение скидки) при увеличении (консолидации) объема его закупки; установление единой цены по однородным местам поставки на одинаковый товар для всех ДЗО.

Кроме того, для снижения возможности реализации рисков закупочной деятельности в работе предложен соответствующий критерий отбор для проведения предварительной аттестации поставщиков, в том числе с установлением уровня производства товара (соответствия объему Заказчиков), наличия достаточного объема складских мощностей для хранения топлива (емкости), а также подтверждением качества производимого товара (экспертиза или оценка аккредитованной лаборатории).

При этом реализация категорийной стратегии требует предварительного проведения маркетингового исследования на предмет установления порогового значения цен для организации и проведения закупок. В связи с чем прогноз экономического эффекта необходимо

актуализировать на уровень цен, установленных непосредственно перед процедурой организации тендера. Фактический достигнутый экономический эффект по итогам закупки

уместно сравнивать с аналогичным показателем, определённым посредством маркетингового исследования перед организацией консолидированной закупки.

### Библиографический список

1. Magalhães T., Eckhardta D., Leirasa A. Sustainable procurement portfolio management: A case study in a mining company. *Producao*. 2017;(27):1-15. DOI: [10.1590/0103-6513.213616](https://doi.org/10.1590/0103-6513.213616)
2. Amindoust A., Ahmed S., Saghafinia A., Bahreininejad A. Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing Journal*. 2012;12(6):1668-1677. DOI: [10.1016/j.asoc.2012.01.023](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.01.023)
3. Dubois A., Pedersen A.-C. Why relationships do not fit into purchasing portfolio models a comparison between the portfolio and industrial network approaches. *European Journal of Purchasing and Supply Management*. 2002;8(1):35-42. DOI: [10.1016/S0969-7012\(01\)00014-4](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(01)00014-4)
4. «Правила ценообразования на регулируемых рынках, утверждения и корректировки инвестиционной программы (проекта) субъекта регулируемого рынка», утвержденные приказом Министра национальной экономики РК от 29.12.2014 г. за №174.
5. Прогноз социально-экономического развития Республики Казахстан на 2017–2021 годы от 31 августа 2016 года, протокол № 29, опубликованный на веб-сайте министерства национальной экономики Республики Казахстан 19 сентября 2016 г.; письмо АО «НАК «Казатомпром» о «О формировании планов развития на 2017–2021 гг.» от 21.07.2016 г. исх. № 04-18/2902.
6. Майкл Р. Линдерс, Харольд Е. Фирон. *Управление снабжением и запасами. Логистика*. Пер. с англ. СПб.: ООО «Виктория плюс»; 2002. С. 29-31.
7. Кодекс Республики Казахстан от 10 декабря 2008 года № 99-IV «О налогах и других обязательных платежах в бюджет (Налоговый кодекс)» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 26.07.2016 г.), постановление Правительства Республики Казахстан от 13 марта 2015 года № 133.
8. Белов Л. Б. Выбор модели корпоративного снабжения: метод экспертной оценки. *Логистика сегодня*. 2010;(2):92-100.
9. Постановление Правительства от 20.08.2002 №926 «О концепции развития урановой промышленности и атомной энергетики Республики Казахстан на 2002-2030 годы».
10. Белов Л. Б. Основные подходы к выбору модели материально-технического снабжения холдинга. *Логистика и управление цепями поставок*. 2009;(6):69-77.
11. *Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов*. Под общей редакцией проф. В. И. Сергеева. М.: ИНФРА-М; 2013. 634 с.
12. Баско И. М., Дурасов А. С., Карпеко О. И. и др. Материально-техническое снабжение: Учеб. пособие. Под ред. Л. М. Михневича. Мн.: БГЭУ; 2002.
13. Сверчков П. А. Подход к принятию решения о централизации закупочной деятельности. *Логистика и управление цепями поставок*. 2012;(3):15-30.
14. Сысоева С. В., Бузукова Е. А. *Категорийный менеджмент. Курс управления ассортиментом в рознице* (+электронное приложение). СПб.: Питер; 2016
15. Сергеев В. И., Эльяшевич И. П. *Логистика снабжения*. М.: Рид Групп; 2011. 416 с.
16. Чернов И. В. Организация системы закупок в торговой компании. *Управление продажами*. 2007;(3):10-15.
17. *Joint A. Uranium Resources, Production and Demand International: Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency*. Boulogne-Billancourt France. Organisation for economic cooperation and development. 2018. 462 p.
18. Khawassek Y. M., Taha M. H., Eliwa A. A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert. *Egypt International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*. 2016;(6):62-73.
19. Meng H., Li Z., Ma F., Jia L., Wang X., Zhou W., Zhang L. Preparation and characterization of surface imprinted polymer for selective sorption of uranium(VI). *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015;306(1):139-146
20. Закон Республики Казахстан от 20 июля 2011 года № 463-IV «О государственном регулировании производства и оборота отдельных видов нефтепродуктов» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 09.04.2016 г.)
21. Экологический кодекс Республики Казахстан от 9 января 2007 года № 212-III с изменениями и дополнениями по состоянию на 30.06.2016 г.; Закон Республики Казахстан от 20 июля 2011 года № 463-IV «О государственном регулировании производства и оборота отдельных видов нефтепродуктов» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 09.04.2016 г.)



## References

1. Magalhães T., Eckhardt D., Leirasa A. Sustainable procurement portfolio management: A case study in a mining company. *Producao*. 2017;(27):1-15. DOI: [10.1590/0103-6513.213616](https://doi.org/10.1590/0103-6513.213616)
2. Amindoust A., Ahmed S., Saghafinia A., Bahreininejad A. Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. *Applied Soft Computing Journal*. 2012;12(6):1668-1677. DOI: [10.1016/j.asoc.2012.01.023](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.01.023)
3. Dubois A., Pedersen A.-C. Why relationships do not fit into purchasing portfolio models a comparison between the portfolio and industrial network approaches. *European Journal of Purchasing and Supply Management*. 2002;8(1):35-42. DOI: [10.1016/S0969-7012\(01\)00014-4](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(01)00014-4)
4. "Rules for pricing at regulated markets, approval and adjustment of the investment program (project) of a regulated market subject", approved by Order No. 174 of the Minister of National Economy of the Republic of Kazakhstan dated December 29, 2014. (In Russ.)
5. *Forecast of socio-economic development of the Republic of Kazakhstan for 2017–2021 dated August 31, 2016, Minutes No. 29, published on the website of the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan on September 19, 2016*; letter of NAC Kazatomprom JSC "On the formation of development plans for 2017–2021 dated July 21, 2016, ref. No. 04-18/2902 (In Russ.)
6. Michael R. Linders, Harold E. Fearon. *Procurement and inventory management. Logistics*. Translated from English. St-P.: LLC Victoria Plus Publ.; 2002. P. 29-31 (In Russ.)
7. *Code of the Republic of Kazakhstan dated December 10, 2008 No. 99-IV "On taxes and other compulsory payments to the budget (Tax Code)"* (amended and revised as of July 26, 2016), Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 133 dated March 13, 2015 (In Russ.)
8. Belov L. B. Selecting a corporate procurement model: an expert review method. *Logistika segodnya*. 2010;(2):92-100
9. Governmental Decree of 20.08.2002 No. 926 "On the concept of development of the uranium industry and nuclear power industry of the Republic of Kazakhstan for 2002-2030" (In Russ.)
10. Belov L. B. The main approaches to selecting a holding company procurement model. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok*. 2009;(6):69-77. (In Russ.)
11. *Corporate logistics. 300 answers to professional questions*. Ed. Sergeev V. I. Moscow: INFRA-M Publ.; 2013. 634 p. (In Russ.)
12. Basko I. M., Durasov A. S., Karpeko O. I., et al. *Procurement: Tutorial*. Ed. Mikhnevich L. M. Minsk: BGEU Publ.; 2002. (In Russ.)
13. Sverchkov P. A. Approach to decision making on procurement centralization. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok*. 2012;(3):15-30. (In Russ.)
14. Sysoeva S. V., Buzukova E. A. *Category management. Retail product range management course (+electronic application)*. St-P.: Piter Publ.; 2016. (In Russ.)
15. Sergeev V. I., Elyashevich I. P. *Supply logistics*. M.: Read Group Publ.; 2011. 416 p. (In Russ.)
16. Chernov IV. Procurement system organization in a trading company. *Upravlenie prodazhami*. 2007;(3):10-15.
17. *Joint A. Uranium Resources, Production and Demand International: Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency*. Boulogne-Billancourt France. Organisation for economic cooperation and development. 2018. 462 p.
18. Khawassek Y. M., Taha M. H., Eliwa A. A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert. *Egypt International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*. 2016;(6):62-73.
19. Meng H., Li Z., Ma F., Jia L., Wang X., Zhou W., Zhang L. Preparation and characterization of surface imprinted polymer for selective sorption of uranium(VI). *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015;306(1):139-146
20. Law of the Republic of Kazakhstan No. 463-IV dated July 20, 2011 "On governmental regulation of the production and turnover of certain types of oil products" (amended and revised as of 09.04.2016) (In Russ.)
21. Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated January 9, 2007 No. 212-III, amended and revised as of June 30, 2016; Law of the Republic of Kazakhstan No. 463-IV dated July 20, 2011 "On governmental regulation of the production and turnover of certain types of oil products" (amended and revised as of 09.04.2016) (In Russ.)

## ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-336-348

## Substantiation of parameters of mine working drivage with blasting technique and cleaning charges in advance cutting holes

V. I. Lyashenko<sup>1</sup>, O. E. Khomenko<sup>2</sup>, M. N. Kononenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Enterprise Ukrainian Scientific Research and Design Institute of Industrial Technologies (SE "UkrNIPIIpromtekhologii"), Zheltye Vody, Ukraine

<sup>2</sup>National Technical University "Dneprovskaya Polytechnica", Dnipro, Ukraine

**Abstract:** Drilling and blasting operations (D&B) are the most difficult and laborious operations in the process of mineral extraction, requiring permanent development and upgrading of methods and equipment. The aim of the study is to substantiate the parameters of drilling and blasting drivage of horizontal and inclined (up to 12o) mine workings on the basis of high-performance self-propelled equipment and new designs of box cuts with cleaning explosive charges (0.2 kg of 6ZhV ammonite), placed in advance holes of 65 to 105 mm in diameter. The paper presents the results of the analysis of practical experience and scientific achievements in the field of drilling-and-blasting rupture of solid media and continuum mechanics. The need for new designs of box cuts, reliability of which in the formation of high-quality (clean) cut cavity reaches 0.95-1.00, was substantiated. New design options of box cuts have been developed, the peculiarity of which consists in provision of sufficient compensation (peripheral) volume with the use of blast hole cut charges for blasting rupture of trapezoidal partitions, with the compensation volume factor of 2.50 to 1.34. Promising areas of research were shown using the example of complicated structure ore deposits and large faults in the Kirovograd ore district and crystalline rocks of the Ukrainian shield at the following mines of Ukraine: PJSC KZhRK, CJSC Sukhaya Balka (Kryvyi Rih), Vostok-Ruda LLC, SE VostGOK (Zheltye Vody), CJSC ZZhRK, etc. Promising areas of research were proposed using the example of complicated structure ore deposits typically formed at the junction of large faults; besides, the use of environmentally friendly emulsion explosives and self-propelled emulsion explosive chargers was recommended.

**Keywords:** ore mass, mine workings, drivage with blasting technique, box cut, cleaning charge, safety, performance

**Acknowledgements:** Specialists of the following organizations contributed to the creation, improvement and implementation of these research and development:

– State Enterprise Ukrainian Scientific Research and Design Institute of Industrial Technologies (SE "UkrNIPIIpromtekhologii"), the city of Zheltye Vody, Ukraine;

– State Enterprise "Vostochny Mining and Processing Complex" (SE "VostGOK"), the city of Zheltye Vody, Ukraine;

– National Technical University "Dneprovskaya Polytechnica", Dnipro, Ukraine;

– State Enterprise "Kirovgeologiya", Kiev, Ukraine.

A. Kh. Dudchenko, A. A. Tkachenko, P. A. Kisly, A. S. Kurdyukov, A. G. Skotarenko, V. I. Stepanov, N. P. Khmara also participated in the work.

**For citation:** Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Kononenko M. N. Substantiation of parameters of mine working drivage with blasting technique and cleaning charges in advance cutting holes. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):336-348. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-336-348



## Обоснование параметров буровзрывной проходки горизонтальных горных выработок с подчищающими зарядами взрывчатых веществ в опережающих скважинах вруба

В. И. Ляшенко<sup>1</sup>, О. Е. Хоменко<sup>2</sup>, М. Н. Кононенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственное предприятие Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии (ГП «УкрНИПИИпромтехнологии»), г. Желтые Воды, Украина

<sup>2</sup>Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина

**Аннотация:** Наиболее сложными и трудоемкими в добыче полезного ископаемого, требующими постоянного изучения и совершенствования технологии и технических средств для ее осуществления являются буровзрывные работы (БВР). Целью исследования является обоснование параметров буровзрывной проходки горизонтальных и наклонных (до 12°) горных выработок на базе высокопроизводительного самоходного оборудования и новых конструкций призматических врубов с подчищающими зарядами взрывчатых веществ (ВВ) по 0,2 кг аммонита марки 6ЖВ, размещенных в опережающих скважинах диаметров от 65 до 105 мм. В работе представлены результаты анализа практического опыта и научных достижений в области буровзрывного разрушения твердых сред, механики сплошных сред. Обоснована потребность в новых конструкциях призматических врубов, надежность работы которых по образованию качественной (чистой) врубовой полости достигает 0,95–1,00. Рекомендованы варианты новых конструкций призматических врубов, особенность которых заключается в обеспечении каждой из них достаточным компенсационным объемом для работы шпуровых врубовых зарядов ВВ на разрушение трапециевидных перегородок с коэффициентом компенсационного объема от 2,50 до 1,34. Показаны перспективные направления исследований на примере рудных месторождений сложного строения и мощных тектонических разломов Кировоградского рудного района и кристаллических породах Украинского щита на шахтах Украины: ПАО «КЖРК», ЧАО «Сухая Балка» (г. Кривой Рог), ООО «Восток-Руда», ГП «ВостГОК» (г. Желтые Воды), ЧАО «ЗЖРК» и др. Предложены перспективные направления исследований на примере рудных месторождений сложного строения с типичными образованиями в узлах сочленения мощных тектонических разломов и применения экологически чистых эмульсионных ВВ, а также самоходных зарядчиков эмульсионных ВВ.

**Ключевые слова:** рудные массивы, горные выработки, буровзрывная проходка, призматические врубы, подчищающий заряд, безопасность, эффективность

**Благодарность:** В создании, совершенствовании и внедрении научных разработок принимали участие и оказывали содействие специалисты следующих организаций:

- Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии» (ГП «УкрНИПИИпромтехнологии»), г. Желтые Воды, Украина;
- Государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» (ГП «ВостГОК»), г. Желтые Воды, Украина;
- Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина;
- Казенное предприятие «Кировгеология» (КП «Кировгеология»), г. Киев, Украина.

В работе также принимали участие А.Х. Дудченко, А.А. Ткаченко, П.А. Кислый, А.С. Курдюков, А.Г. Скотаренко, В.И. Степанов, Н.П. Хмара и др.

**Для цитирования:** Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Кононенко М. Н. Обоснование параметров буровзрывной проходки горизонтальных горных выработок с подчищающими зарядами взрывчатых веществ в опережающих скважинах вруба. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4): 336-348. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-336-348

### Introduction

Drilling and blasting operations (D&B) are the most difficult and laborious operations in the process of mineral extraction, requiring permanent development and upgrading of methods and equipment [1, 2]. Construction of mine workings requires

implementation of a whole cycle of mining operations, among which drilling and blasting operations are primary [3, 4]. Taking into account the parameters and various purposes of the workings (transport, ventilation, etc.) is also important in the design and implementation of D&B [5– 7]. High quality of drivage is a key prerequisite of safe operation



throughout a mine working life cycle [8, 9]. This work is a continuation of the authors' research, the main scientific and practical findings of which are most fully presented in [10–12].

### Research objectives and tasks

The aim of the study is to substantiate the parameters of drivage with blasting technique of horizontal and inclined (up to 12°) mine workings on the basis of high-performance self-propelled equipment and new designs of box cuts with cleaning explosive charges (0.2 kg of 6ZhV ammonite), placed into advance holes of 65 to 105 mm in diameter. This will ensure high-quality mine working drivage with the advance per round of at least 3.0–3.5 m, increasing the drivage rate from current 50–70 m/month up to 300 m/month per a tunneling system in the near future. To achieve this goal, the experimentally obtained data are compared with the calculated data. The research objective is development and performing of tests on new designs of box cuts with cleaning explosive charges (0.2 kg of 6ZhV ammonite), placed into advance holes for drivage with blasting technique of horizontal and inclined (up to 12°) mine workings in the conditions of a specific metal deposit [13].

### Study of the rock mass characteristics at an ore deposits of complicated structure

The considered ore deposit of a complicated structure is a typical ore body at the junction of large faults in Kirovograd ore district in Ukraine. The combination of physico-mechanical properties of the rocks enclosing this deposit naturally determines geotechnical conditions under which development and face-entry drivages and stoping are to be safely performed. To provide the safety, assessing stress-strain state (SSS) of the rock

mass (geotechnical monitoring) should be permanently performed by various methods and equipment, including field studies of the impact of man-made voids on the rock mass stability under the mine conditions [14]. When assessing the stability of mine workings, permanent assessing the rock mass weakening factor (the ratio of adhesion along the contacts of natural fractures to adhesion in intact solid rock) is required, this is decisive in determining the need and type of supporting these workings. Its value for the considered rock masses ranges 0.32 to 0.39 [15].

Deposits of this type demonstrate similarity in rock mass quality and, hence, similar practice of extraction and supporting are applicable to them. Mining at the deposit allow forecasting rock mass parameters at similar type deposits. The results of field measurements for the considered rock masses showed that the direction of the fractures, as a rule, coincides with the designed direction of the ore body extraction. In this case, fractures propagating at angle of more than 45° prevail [16].

The main processes occurring in rock mass after goaf formation (development workings and stopes), subject to monitoring [17]:

- formation of SSS of rock mass and its change over time;
- displacement (failure) of rocks, manifested in various forms;
- interaction of rocks and supports.

Rock pressure is produced by gravity – weight of vertical overlying rock column (up to the surface) and the shear stresses produced by tectonic movements. The forces of rock pressure objectively exist independently of the formation of man-made voids in a rock mass, but the processes of changing the integrity of surfaces are

possible only after the void formation. Actual geomechanical rock mass force field at each point of the space coordinate grid is characterized by SSS values depending on the shape and parameters of mine workings. At permissible parameters, mine workings remain in stable safe state [18].

The manifestation of irreversible deformations changing the rock mass took place in the course of drivage of the exploration-and-production shaft in the form of fracturing and spalling of rock pieces from the wall at a depth of 870–880 m. This evidences potentiality of dangerous unloading of the rock mass (rock burst) after the formation of a goaf. Ore-enclosing rocks and ore bodies of such a deposit, composing the main mass, are very stable; exploration workings in them are capable to maintain their shape for a long time without noticeable signs of deformation, with the exception of appearing fractures and small spalls caused by changes in the natural stress field.

At the deposit, zones of rock weakness are collectors of static groundwater reserves and, at the same time, may cause cutter breaks (wedges) and inrushes in some tectonically disturbed areas in the places of clay gouge formation – in the discussed case, these are zones of Syenite and Sekushchy faults, whose thickness is 40-50 m. Hole drilling data show that zones of unstable rocks were found in all faults. In such fracturing zones, scabbing of large rock pieces at the contacts of the fault footwall and hanging wall. Therefore, in the course of drivage through these zones, rock scaling, and, in some cases, bolting are required [19].

There are no large gneiss masses at this deposit, but some gneiss is found within granites. Rockbursts, pressure bumps, and rock outbursts

were not observed. In the course of mining, when approaching deep tectonic zones (faults), advance boreholes should be drilled to determine both watering and gas content. Control of gas content in the mine air should be systematically carried out by the ventilation and gas rescue services [20]. The main activities during mining should be aimed at reducing harmful aerosols content in the mine air to the safe level and minimizing their impact on operational personnel. 673 deep exploration boreholes have been drilled at the deposit, not taking into account underground drilling. All the boreholes are plotted to the abandonment map, but not all ones have been plugged [21].

#### **Justification of selection of equipment for mine working drivage**

A tunnelling system (including self-propelled equipment) for drivage of horizontal and inclined workings includes [22]:

- jumbo drill rig;
- LHD.

Two options of tunnelling system with diesel engine undercarriage were considered:

- 1) AtlasCopco:
  - Boomer 281 (282) drilling rig;
  - ST 3.5 LHD;
- 2) Tamrock:
  - drilling rig Minibur 1F;
  - TORO 151 LHD.

Performance specifications of the considered systems for drivage of horizontal and inclined workings are presented in Table 1.

Productivity on loading and transportation of rock mass while driving mine workings and in working faces of Boomer 281 (282)/ST 3.5 system (Table 2) and Minibur 1F/TORO 151 system (Table 3).

Table 1

**Performance specifications of the systems for drivage of horizontal and inclined workings**

Indicator	Heading set of equipment (tunneling system) AtlasCopco		Heading set of equipment (tunneling system) Tamrock	
	Drilling rig	LHD	Drilling rig	LHD
Facility type	Boomer 281(282)	ST 3.5 (ST710)	Mini-drill 1F	TORO 151
Bucket capacity, m <sup>3</sup>		3.6		1.75
Weight-carrying capacity, t, at $\gamma = 1,66 \text{ t/m}^3$		5.2		2.5
Overall dimensions, mm:				
Length	11,620	8,824	8,500	6,970
Width	1,650	2,040	1,200	1,480
Height				
for transportation	2,100	2,104	1,850	1,235
at discharge		4,374*		
on duty		1,719		1,740
Engine:				
power, kW (hp)	42 (75)	149 (200)	30 (40)	53 (71)
air tyre	8,25R15	17,5×25	10×15	12×20
tank capacity, l	60	191	50	80
fuel consumption, kg/h	13.5	36	7.2	13
installed power, kW	63		55	
operating weight, t	9.3	18.2	7.0	8.7
rock-boring machine, type	COP 1432		1GI300S	
water consumption, m <sup>3</sup> /h	2.9		2.9	
noise level, dB (A)	<106		<106	
drilling-off area, m <sup>2</sup>	10÷31		4÷18	
air consumption for face airing, m <sup>3</sup> /s		17		6

*Note.* From sill to bucket edge when unloading directly into transport vessels.

Table 2

**Boomer 281 (282)/ST 3.5 system performance**

Indicator	Haulage distance									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Hourly throughput, tph	107.2	89.8	77.6	67.8	60.8	55	49.8	45.8	42.2	39.4
Shift throughput, t/shift	536	448	388	338	304	272	248	228	210	196
Daily throughput, tpd	1,608	1,344	1,164	1,014	912	816	744	686	630	588
Yearly throughput, ktpa	386	322	254	244	218	196	178	164	152	142

Table 3

**Minibur 1F/TORO 151 performance**

Indicator	Haulage distance									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Hourly throughput, tph	53.6	44.9	38.8	33.9	30.4	27.5	24.9	22.9	21.1	19.7
Shift throughput, t/shift	268	224	194	169	152	136	124	114	105	98
Daily throughput, tpd	804	672	582	507	456	408	372	343	315	294
Yearly throughput, ktpa	193	161	127	122	109	98	89	82	76	71



Based on the analysis of advantages and disadvantages of the systems of the world's leading firms, the following conclusions can be drawn:

- high ergonomic characteristics of Atlas Copco LHDs and dump trucks are their advantage over Tamrock;

- productivity of Boomer 281 (282)/ST 3.5 of Atlas Copco in drivage is 2 times higher than that of Minibur 1F/TORO 151 system of Tamrock at the same distances of rock mass transportation;

- annual productivity of ST 3.5 LHD is 2 times higher than that of TORO 151;

- to mechanize blast-hole charging, it is advisable to use a self-propelled charging unit with diesel-engine drive.

### Development of blasting pattern for mine working drivage

In practice, rational distances between the blast holes are calculated using the well-known formula of prof. V.N. Mosinets [13, 16]:

$$a = KW, \text{ m}, \quad (1)$$

where  $K$  is coefficient taking into account the blast hole designation,  $K = 1.0 - 1.3$  for outer holes,  $K = 0.75$  - for peripheral sill holes,  $K = 0.85$  for peripheral roof holes,  $K = 0.95$  for peripheral wall holes.

The formula is valid when the peripheral hole diameter ranges 50 to 200 mm. The disadvantages of peripheral blasting are as follows: the number of blast holes increases by 10–15%, and the charging labor costs increase. Based on the practice of peripheral blasting, the distance between the holes in the peripheral row should be adjusted for the depth of fracturing caused by blasting of the outer pre-peripheral hole charges of the latest row:

$$a_k \leq (0,8 - 1,0)W_k, \text{ m} \quad (2)$$

where  $W_k$  is the line of least resistance of the peripheraling charges, m, which on a field basis for hard rocks (Protodyakonov rock hardness index  $f = 16$ ) is equal to 0.60-0.65 m. Thus, the distance between the peripheral blast holes is equal to  $a_k \leq (0,8 - 1,0) \cdot 0,6 \leq 0,5 - 0,6$  m. It is taken at:  $a = 0.55$  m on average.

The projected specific consumption of explosives is determined on the basis of calculation or experience in mine working drivage with certain type of explosive. The new explosive specific consumption for working drivage is adjusted according to the formula:

$$q_H = q \cdot K_{\text{паб}}, \text{ kg/m}^3, \quad (3)$$

where  $q$  is the used explosive specific consumption (ammonite No. 6ZhV),  $\text{kg/m}^3$ ,  $K_{\text{паб}}$  is the explosive performance factor, units;

$$K_{\text{паб}} = \frac{e_H}{e}, \quad (4)$$

where  $e_H$  is performance of the explosive used,  $\text{cm}^3$ . Performance of ammonite No. 6ZhV and grammonite 79/21 is equal to  $e = 360 - 370 \text{ cm}^3$  at charging density of  $\rho = 1.0 - 1.1 \text{ g/cm}^3$  (from 0.8  $\text{g/cm}^3$  for grammonite 79/21; granulite AS-4; AS-4V; AS-8; AS-8V up to 1.6  $\text{g/cm}^3$  for ammonite No. 1 for hard rock and other); when using other explosive type, its specific consumption is adjusted through the performance factor.

Two options of the equipment used for drilling operations are considered:

- AtlasCopco Simba M4C drilling rig;
- Tamrock SOLO 1L drilling rig (Table 4).

To effectively conduct blasting operations with ensuring minimizing seismic effect on the enclosing rock mass stability, the use of the following explosive types is recommended and regulated (Table 5).

Table 4

Technical characteristics of drilling rigs

Indicator	AtlasCopco	Tamrock
Facility type	Simba M4C	SOLO 1L
Rock-boring machine	COP 2550EX	TAMROCK 510LKh
Hole diameter	64–102	64–89
Optimum depth, m	51	30
Overall dimensions, mm		
Length	10,500	6,450
Width	2,350	1,670
Height		
For transport	2,875	2,150
In working position	2,965	2,750
Engine:		
power, kW (hp)	115 (156)	30 (42)
Installed power, kW	118	60

Table 5

Explosive seismic effect

Explosive type	Charge density g/cm <sup>3</sup>	Explosion heat, kJ/kg	Velocity of det- onation (km/s)	Seismic effect in- dex
No. 6ZhV ammonite	1.0–1.2	4,305	3.6–4.8	1.0
Grammonite 79/21	0.80–0.85 (bulk density)	4,285	3.2–4.0	1.0
Granulite AS-4; AS-4V	0.8–0.9 (bulk density)	4,522	3.0–3.5	1.03
Granulite AS-8; AS-8V	0.8–0.95 (bulk density)	5,191	3.0–3.6	1.12
Ammonal A-200	0.95–1.1 (explosive car- tridge)	4,932	4.2–4.6	1.07
Ammonal A-10	0.95–1.2 (explosive car- tridge)	5,645	–	1.19
Hard rock ammonal No. 3	1.0–1.1 (explosive car- tridge)	5,684	4.2–4.6	1.19
Hard rock ammonal No. 1	1.43–1.58	5,400	6.0–6.5	1.17

### Development of box cuts with two holes having diameter of $d = 65$ mm

At peripheral blasting, the number of peripheral holes (along the cross-section contour) is determined on the basis of the previously justified parameters. The holes at the face include cut holes, the number of which depends on the face design. The greater the number of holes per a cut, the higher their performance. For finishing the cut cavity, auxiliary blast-hole charges are used, which determine the quality of rock mass breaking at the face and the length of advance per round. All blast holes outside the cut and the cross-sectional contour are evenly distributed in the face and called outer holes [23, 24].

Experience shows that due to the impossibility of observing the calculated geometry of the cut due to violations occurring in the process of face drilling, the hole charges do not ensure cleaning of the cut cavity for the entire depth of the advance per round [25, 26]. As a result, the length of advance per round at low blast hole utilization rate. To improve the quality of the cut cavity cleaning, a cleaning charge is used, which is blasted last in the cut at a greater depth (300–400 mm) in peripheral hole. To clean the cut cavity, it is advisable to place the cleaning charge in a small-diameter peripheral hole (65, 74, 85 mm), if there is no confidence in effective cleaning the cut cavity without applying the cleaning charge.

The use of a cleaning charge in a cut increases the reliability of its cleaning and ensures high-quality cut formation up to 90–95%. To ensure horizontal and inclined (up to 12°) mine workings drivage advance up to 3.5 m and more, box cuts with two holes 65 mm in diameter ( $d$ ) with bottomhole placed cleaning charges (0.2 kg of 6ZhV ammonite) were developed, one of which is shown in Fig. 1.

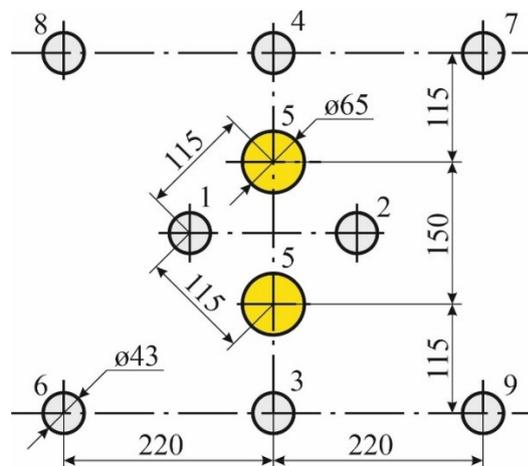
### Study of perimeter (compensation) volumes for different cut options

Compensation (peripheral) volume factors for the different cut options during explosions for blasting the first charge of cut holes for peripheral hole:  $d = 105$  mm, 2.5;  $d = 85$  mm, 2.0;  $d = 74$  mm, 2.14. At blasting of the fourth cut charge, the compensation (peripheral) volume factors for peripheral holes are as follows:  $d = 105$  mm, 1.44;

$d = 85$  mm, 1.36;  $d = 74$  mm, 1.34.

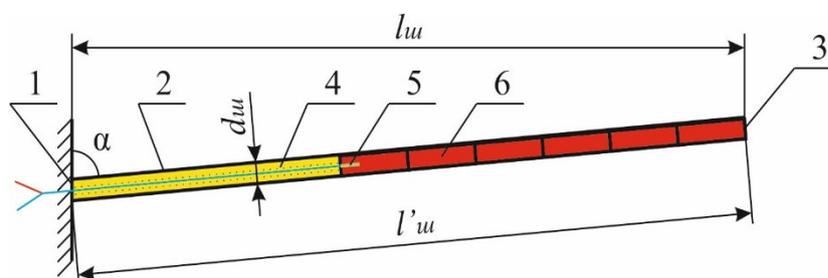
It was found that action of the first charges in the cut bottom part occurs under conditions with excessive compensation volume (tight-face blasting), and the action of the last cut charges (the fourth in delay) occurs under weak compressing conditions. The main blast hole parameters are diameter ( $d_{bh}$ ), length ( $l_{bh}$ ) and depth (Fig. 2).

Correct drilling implementing the proposed cut designs with observing the above-described cut charge operating conditions ensures high-quality rock mass rupture with effective use of the entire face blast holes. The most effective cut options should be selected in the process of testing when implementing blasting patterns in the faces of horizontal and inclined (up to 12°) mine workings.



**Fig. 1. Box cut with two blast holes with cleaning charges:**

1, 2, 3, 4 – cut blast hole charges blasted in turn; 5 – cleaning charges (fifth delay); 6, 7, 8, 9 – auxiliary blast hole charges



**Fig. 2. Blast hole charge design:**

1 – hole mouth; 2 – hole wall; 3 – hole bottom; 4 – stemming; 5 – electric detonator; 6 – explosive cartridge;  
 $\alpha$  – hole angle, degrees



Table 6

Procedure for blast hole charges blasting at a face

Blast hole designation	Numbers		Blast hole delay degree
		delays	
Cut	1	0	0
	2, 3	1	0.025
	4, 5	2	0.050
Auxiliary	6-9	3	0.075
	10-11	4	0.100
	12-15	5	0.150
	16, 17	6	0.250
Outer	18-27	7	0.500
	28-41	8	0.750
Peripheral holes: wall and roof; sill (snake holes); sill (corner)	42-61	9	1.000
	62-68	10	1.500
	69-70	11	2.000

Table 7

Procedure for blast hole charges blasting at a face

Indicator	Value
Rock	Albitite
Protodyakonov rock hardness index, $f$	16
Fracturing	Medium
Cross-section area, $m^2$	13.8
Cut type	Cylinder cut
Number of blast holes, total, and their length, mm	70
perimeter holes;	2, 3800 mm long
cut;	3, 3500 mm long
auxiliary;	12, 3500 mm long
outer;	24, 3500 mm long
peripheral;	29, 3500 mm long
Perimeter hole diameter, mm	65
Blast hole diameter, mm	40
Explosive	No. 6ZhV ammonite
Blast hole charge, kg	190.4
Cleaning charge weight in perimeter holes, kg	0.6
Total explosive specific consumption per blast	191.0
Total rock blasted, $m^3$	45.88
Blast hole utilisation factor	0.95
Explosive specific consumption, $kg/m^3$	4.16
Blasting method	Electric with inverse initiation
Non electric delay detonators	Primadet type



Thus, the main initial data for designing safe mine working drivage, based on which blasting pattern is developed, are as follows [27]:

- geotechnical conditions, including Protodyakonov rock hardness index,  $f$ , rock mass blocky structure (type of fracturing), direction of bedding, etc.);

- mine working drivage rate, determining the advance per round length (up to 3.5 m);

- type of cut depending on the advance per round length; all the developed cuts are used for the advance per round length within the range of 2.5–3.5 m and more; the cut performance with the advance per round length more than 3.5 m shall be assessed after a pilot test.

The order of face hole blasting at blasting drivage of a horizontal mine working with cross-section of  $4300 \times 3600$  mm is presented in Table 6, and the blasting conditions and parameters are given in Table 7.

### Promising areas of research

Promising research area is application of emulsion explosives and equipment sets for mechanized drilling and charging of blast holes and boreholes in the course of mine working drivage. To date, the volume and scale of introducing of environmentally friendly Ukrainit-PP-2 emulsion explosive has increased significantly, with expanding geography and scope of its application at mines of Ukraine, including: PJSC "KZhRK", PrJSC "Sukhaya Balka" (Kryvyi Rih), LLC "Vostok-Ruda" (the city of Zheltye Vody), PrJSC "ZZhRK". Besides, the first experimental charges of a blast-hole ring (at the hole diameter of 89-105 mm and length of up to 30 m) were tested, and work is underway for improving the process of preparing the explosive components.

With the support of the Gosgorpromnadzor of Ukraine and the Kryvyi Rih Mining and

Technical Inspectorate, commercial tests of Ukrainit-PP-2 emulsion explosive will continue at the mines of PJSC KZhRK and SE VostGOK. Some other companies of developed mining countries [10–12, 28] are also interested in testing on application of emulsion explosives.

### Conclusions

1. It was shown that blast hole charge diameter is an important parameter when driving mine workings, since it determines the explosive content in the hole, the detonation velocity and distance of its transmission, the hole drilling rate and the labor intensity of drilling operations, the quality of contouring the mine working design cross-section, and economic indicators. It is unreasonable to apply blast hole diameter of more than 40–42 mm in drifting faces. Decreasing the blast hole diameter to 36 mm increases performance of mine working drivage with blasting technique.

2. It was determined that to provide an advance per round of at least 3.3-3.5 m, in addition to high-productive self-propelled equipment, new designs of box cuts are required, reliability of which in the formation of high-quality (clean) cut cavity reaches 0.95-1.00.

3. New designs of box cuts have been developed, the peculiarity of which consists in provision of sufficient compensation (peripheral) volume (advance holes with diameters from 65 to 105 mm, charged with cleaning charges of 0.2 kg of ammonite No. 6ZhV) for rupture of trapezoidal partitions with the compensation volume factor of 2.50 to 1.34.

4. The procedure for the development of blasting pattern is recommended, which ensures high-quality mine working drivage with the advance per round of at least 3.0–3.5 m, and increasing the drivage rate from current 50 – 70m/month up to 300 m/month per a tunneling system in the near future.

## References

1. Jonson D. Controlled shock waves and vibrations during large and intensive blasting operations under Stockholm city. Workshop on Tunneling by Drilling and Blasting hosted by the *10th Int. Symp. On Fragmentation due to Blasting* (Fragblast 10), New Delhi, India, 24–25 November. 2012. P. 49-58.
2. Monalas F. I., Arusu T. Blasting works in urban area A Singapore case study. Workshop on Tunneling by Drilling and Blasting hosted by the *10th Int. Symp. On Fragmentation due to Blasting* (Fragblast 10), New Delhi, India, 24–25 November. 2012. P. 23-30.
3. Gupta I. D., Trapathy G. R. Comparison of construction and mining blast with specific reference to structural safety. *Indian Mining and Engineering Journal*. 2013;54(4):13-17.
4. Kelly B. Stress analysis for boreholes on department of defense lands in the western united states: a study in stress heterogeneity. Proceedings, *Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*. Stanford: Stanford University. 2013. P. 139–150.
5. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). *Solid Earth*. 2014;(5):1123-1149.
6. Polak C. International Symposium on 23–27 June 2014 Vienna, Austria. Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: *Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues*. International Atomic Energy Agency. Vienna. 2014. P. 8–9. URL: <http://www-pub.iaea.org/iaea meetings/46085/> (дата обращения: 19.08.2016).
7. *Techno-economic Comparison of Geological Disposal of Carbon Dioxide and Radioactive Waste*. Marketing and Sales Unit, Publishing Section International Atomic Energy Agency. Vienna. 2014. P. 246. URL: <http://www.iaea.org/books> [Accessed: 19.08.2016]
8. Safonov O. P., Shkreba O. P. *A probabilistic method for assessing seismic effect of commercial blasting*. Moscow: Nedra Publ.; 1970. 56 p. (In Russ.)
9. Shashurin SP, Plaksa NV, Lebedev AP. Development of large ore deposits with single-stage mining methods. Moscow: Nedra Publ.; 1971. 201 p. (In Russ.)
10. Lyashenko V. I., Franchuk V. P., Kisly B. P. Modernization of uranium mining production complex. *Gornyy zhurnal*. 2015;(1):26-32 (In Russ.)
11. Lyashenko V., Vorob'ev A., Nebohin V., Vorob'ev K. Improving the efficiency of blasting operations in mines with the help of emulsion explosives. *Mining of Mineral Deposits*. 2018;12(1):95-102
12. Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Golik V. I. Friendly and Resource-Saving Methods of Underground Ore Mining in Disturbed Rock Masses. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):104-118. DOI: [10.17073/2500-0632-2020-2-104-118](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118) (In Russ.)
13. Mosinets V. N. Crushing and seismic effect of blasting in rock mass. Moscow: Nedra Publ.; 1976. 271 p. (In Russ.)
14. Tseitlin Ya. I., Smolij N. I. *Seismic and shock air waves caused by commercial blasting*. Moscow: Nedra Publ.; 1981. 192 p. (In Russ.)
15. Bogatsky V. F., Fridman A. G. *Protection of structures and the environment against adverse effect of commercial blasting*. Moscow: Nedra Publ.; 1982. 162 p. (In Russ.)
16. Mosinets V. N., Abramov A. B. *Rupture of fractured and disturbed rocks*. Moscow: Nedra Publ.; 1982. 248 p. (In Russ.)
17. Sadovsky M. A. *Geophysics and Explosion Physics*. Moscow: Nedra Publ.; 1997. 334 p. (In Russ.)
18. Sleptsov M. N., Azimov R. Sh, Mosinets V. N. *Underground mining of non-ferrous and rare metals*. Moscow: Nedra Publ.; 1986. 206 p. (In Russ.)
19. *Mining and processing of uranium ores in Ukraine*. Under the gen. ed. of Chernov A. P. Kyiv, Adef-Ukraine Publ.; 2001. 238 p. (In Russ.)
20. Kutuzov B. N., Belin V. A. Blasting design and arrangement. Moscow: MGGU; 2011. 410 p. (In Russ.)
21. Sivenkov V. I., Ilyakhin S. V., Maslov I. Yu. *Emulsion explosives and non-electric initiation systems*. Moscow: Shchit-M Publ.; 2013. 320 p. (In Russ.)
22. Trubetskoy K. N., Zakharov V. N., Viktorov S. D., Zharikov I. F., Zakalinsky V. M. Explosive rock rupture in the course of subsoil development. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2014;(3):80-95. (In Russ.)
23. Trubetskoy K. N. *Development of resource-saving and resource-reproducing geotechnologies for the integrated development of mineral deposits*. Moscow: IPKON RAS Publ.; 2014. 196 p. (In Russ.)
24. Frantov A. E., Brigadin I. V., Tuchkov E. N., Doroshenko S. I. On the relationship between energy and explosive characteristics when assessing blasting effect under complicated mining conditions. *Vzryvnoe delo*. 2015;113/70:204-216. (In Russ.)
25. Overchenko M. N., Moser S. P., Galushko F. I., Lunkov A. G. Development of peripheral blasting arrangement for underground working drivage. *Vzryvnoe delo*. 2016;115/72:202-214. (In Russ.)



26. Rakishev B. R., Rakisheva Z. B., Auezova A. M. Velocity and time of expansion of circumferential explosion chamber in a rock mass. *Vzryvnoe delo*. 2014;111/68:3-17. (In Russ.)
27. Ilyakhin S. V., Norov A. Yu., Yakshibaev T. M. Determination of the radius of fracturing zones in a rock mass caused by confined explosion. *Vzryvnoe delo*. 2016;116/73:29-36. (In Russ.)
28. Umarov F. Ya., Nasirov U. F., Nutfulloev G. S., Nazarov Z. S., Sharipov L. O. Improving efficiency of driving underground mine workings using blast-hole charges with cumulative effect. *Proceedings of Higher Educational Institutions, Gornyy zhurnal*. 2020;(3):15-23. DOI: [10.21440/0536-1028-2020-3-15-23](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-3-15-23) (In Russ.)

### Библиографический список

1. Jonson D. Controlled shock waves and vibrations during large and intensive blasting operations under Stockholm city. Workshop on Tunneling by Drilling and Blasting hosted by the *10th Int. Symp. On Fragmentation due to Blasting* (Fragblast 10), New Delhi, India, 24–25 November. 2012. P. 49-58.
2. Monalas F. I., Arusu T. Blasting works in urban area A Singapore case study. Workshop on Tunneling by Drilling and Blasting hosted by the *10th Int. Symp. On Fragmentation due to Blasting* (Fragblast 10), New Delhi, India, 24–25 November. 2012. P. 23-30.
3. Gupta I. D., Trapathy G. R. Comparison of construction and mining blast with specific reference to structural safety. *Indian Mining and Engineering Journal*. 2013;54(4):13-17.
4. Kelly B. Stress analysis for boreholes on department of defense lands in the western united states: a study in stress heterogeneity. Proceedings, *Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*. Stanford: Stanford University. 2013. P. 139–150.
5. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical-numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). *Solid Earth*. 2014;(5):1123-1149.
6. Polak C. International Symposium on 23–27 June 2014 Vienna, Austria. Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: *Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues*. International Atomic Energy Agency. Vienna. 2014. P. 8–9. URL: <http://www-pub.iaea.org/iaea meetings/46085/> (дата обращения: 19.08.2016).
7. *Techno-economic Comparison of Geological Disposal of Carbon Dioxide and Radioactive Waste*. Marketing and Sales Unit, Publishing Section International Atomic Energy Agency. Vienna. 2014. P. 246. URL: <http://www.iaea.org/books> (дата обращения: 19.08.2016).
8. Сафонов О. П., Шкреба О. П. *Вероятностный метод оценки сейсмического эффекта промышленных взрывов*. М.: Недра; 1970. 56 с.
9. Шашурин С. П., Плакса Н. В., Лебедев А. П. *Разработка мощных рудных месторождений системами с одностадийной выемкой*. М.: Недра, 1971. 201 с.
10. Ляшенко В. И., Франчук В. П., Кислый Б. П. Модернизация технико-технологического комплекса уранодобывающего производства. *Горный журнал*. 2015;(1):26-32.
11. Lyashenko V., Vorob'ev A., Nebohin V., Vorob'ev K. Improving the efficiency of blasting operations in mines with the help of emulsion explosives. *Mining of Mineral Deposits*. 2018;12(1):95–102.
12. Ляшенко В.И., Хоменко О.Е., Голик В.И. Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):104-118. DOI: [10.17073/2500-0632-2020-2-104-118](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118)
13. Мосинец В. Н. *Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах*. М.: Недра; 1976. 271 с.
14. Цейтлин Я. И., Смолий Н. И. *Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов*. М.: Недра, 1981. 192 с.
15. Богацкий В. Ф., Фридман А. Г. *Охрана сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов*. М.: Недра; 1982. 162 с.
16. Мосинец В. Н., Абрамов А. В. *Разрушение трещиноватых и нарушенных пород*. М.: Недра, 1982. 248 с.
17. Садовский М. А. *Геофизика и физика взрыва*. М.: Недра; 1997. 334 с.
18. Слепцов М. Н., Азимов Р. Ш., Мосинец В. Н. *Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов*. М.: Недра; 1986. 206 с.
19. *Добыча и переработка урановых руд в Украине: Монография*. Под общ. ред. А.П. Чернова. Киев: АДЕФ-Украина; 2001. 238 с.
20. Кутузов Б. Н., Белин В. А. *Проектирование и организация взрывных работ*. М.: МГГУ; 2011. 410 с.
21. Сивенков В. И., Иляхин С. В., Маслов И. Ю. *Эмульсионные взрывчатые вещества и неэлектрические системы инициирования*. М.: Щит-М; 2013. 320 с.
22. Трубецкой К. Н., Захаров В. Н., Викторов С. Д., Жариков И. Ф., Закалинский В. М. Взрывное разрушение горных пород при освоении недр. *Проблемы недропользования*. 2014;(3):80-95.

23. Трубецкой К. Н. *Развитие ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения месторождений полезных ископаемых*. М.: ИПКОН РАН; 2014. 196 с.
24. Франтов А. Е., Бригадин И. В., Тучков Е. Н., Дорошенко С. И. О связи энергетических и взрывчатых характеристик при оценке действия взрыва в сложных горнотехнических условиях. *Взрывное дело*. 2015;113/70:204-216.
25. Оверченко М. Н., Мозер С. П., Галушко Ф. И., Луньков А. Г. Развитие схем контурного взрывания для проходки подземных горных выработок. *Взрывное дело*. 2016;115/72:202-214.
26. Ракишев Б. Р., Ракишева З. Б., Ауэзова А. М. Скорости и время расширения цилиндрической взрывной полости в массиве пород. *Взрывное дело*. 2014;111/68:3-17.
27. Ильяхин С. В., Норов А. Ю., Якшибаев Т. М. Определение радиуса зон трещинообразования горного массива при камуфлетном взрыве. *Взрывное дело*. 2016;116/73:29-36.
28. Умаров Ф. Я., Насиров У. Ф., Нутфуллоев Г. С., Назаров З. С., Шарипов Л. О. Повышение эффективности проходки подземных горных выработок с использованием шпуровых зарядов с кумулятивным эффектом. *Известия вузов. Горный журнал*. 2020;(3):15-23. DOI: [10.21440/0536-1028-2020-3-15-23](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-3-15-23)

**ORIGINAL PAPERS**

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-349-357

**К концепции шахтного подземного выщелачивания металлов****О. З. Габараев<sup>1</sup>, А. О. Габараева<sup>1</sup>, Н. Т. Дедегкаева<sup>1</sup>, Ж. Болотбеков<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия<sup>2</sup>Кыргызский государственный университет геологии, горного дела и освоения природных ресурсов им. акад. У. А. Асаналиева (КГГУ), г. Бишкек, Кыргызская Республика

**Аннотация:** Актуальность проблемы восполнения выбывающих запасов для обеспечения минеральной безопасности России объясняется изменением экономической системы России, изменением географии добычи металлов и ослаблением минерально-ресурсной базы горного производства при переходе от открытого способа к подземному. Приведены сведения о шахтном выщелачивании металлов в историческом срезе. Показана роль российских ученых и научно-исследовательских организаций в исследовании процессов добычи металлов выщелачиванием. Приведены примеры применения технологии на рудниках СССР, СНГ и стран дальнего зарубежья с характеристикой особенностей осуществления. Сформулированы основные недостатки шахтного подземного выщелачивания: низкая скорость получения металлов и трудность осуществления контроля полноты процесса извлечения металлов в продукционный раствор. Отмечено, что при подземном выщелачивании даже хорошо раздробленных руд процесс длится годами, что снижает привлекательность технологии по сравнению с традиционными способами добычи металлов в равных условиях. Описаны известные и новые перспективные методы интенсификации процесса с целью увеличения скорости извлечения металлов в раствор. На примере Северокавказских месторождений Садонской группы показана целесообразность применения технологии подземного выщелачивания для доработки ныне потерянных для традиционной технологии запасов. Охарактеризована роль профессора Остроушко И.А. в изыскании и внедрении способов извлечения металлов, оставленных в отработанных пространствах рудников, в частности, путем извлечения металлов из сточных вод месторождений Садона. Даны сведения о современном состоянии использования технологии. Сделан вывод о недостаточности использования этой перспективной технологии в практике разработки вскрываемых руд в условиях отдельных регионов. Впервые уточнены детали общей концепции подземного выщелачивания: возможность применения шахтного выщелачивания руд не только в благоприятных условиях, но и при невыдержанных элементах залегания и неравномерной минерализации, возможность выщелачивания не только некондиционных для традиционных технологий руд, но и балансовых запасов, и сформулирована возможность подземного блокового выщелачивания как альтернатива традиционным технологиям в конкретных условиях, например, на месторождениях Северного Кавказа.

**Ключевые слова:** добыча металлов, шахтное подземное выщелачивание, продуктивный раствор, руда, интенсификация процесса, потерянные запасы

**Для цитирования:** Габараев О. З., Габараева А. О., Дедегкаева Н. Т., Болотбеков Ж. К концепции шахтного подземного выщелачивания металлов. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4):349-357. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-349-357

**On the concept of in-situ metal leaching****O. Z. Gabaraev<sup>1</sup>, A. O. Gabaraeva<sup>1</sup>, N. T. Dedegkaeva<sup>1</sup>, Zh. Bolotbekov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>North-Caucasian institute of mining and metallurgy (State technological university), Vladikavkaz, Russia<sup>2</sup>Kyrgyz state university of geology, mining and natural resources development named after acad. U. A. Asanaliev, Bishkek, Republic of Kyrgyzstan

**Abstract:** The information on history of in-situ metal leaching method (ISL) was given. The role of Russian scientists and research organizations in research into ISL processes was shown. Examples of ISL application at the mines of the USSR, the CIS and non-CIS countries with the implementation features were given. The main disadvantages of ISL were formulated: low rate of metal production and difficulty in monitoring the completeness of metal recovery into pregnant solution. It was noted that underground leaching of even well-crushed ores lasts for many years. This, under otherwise equal conditions, decreases attractiveness of ISL in comparison with traditional methods of metal mining. Well-known and new promising methods of the leaching process intensification for increasing the rate of metal extraction into solution were described. As illustrated by the North Caucasian deposits of the Sadon group, the expediency of ISL use for extracting the residual reserves, which would not be extracted by the traditional methods, was shown. The role of Professor I. A. Ostroushko in development and implementation of methods for extracting metals



remained in the mined-out space of mines, in particular, by extracting metals from the Sadon deposits wastewater. Information on the current state of ISL application was given. The conclusion was made about insufficient use of this promising method in mining in some regions. For the first time, the details of the ISL general concept were clarified: the feasibility of ISL use not only in favorable conditions, but also at non-continuous geology and mineralization; ISL applicability for not only substandard ores (non-extractable by traditional mining methods), but also for balance reserves; ISL (block leaching) was proposed as an alternative to traditional mining methods in specific conditions, for example, at the North Caucasian complex ore deposits.

**Keywords:** metal mining, in-situ leaching, pregnant solution, ore, process intensification, lost reserves

**For citation:** Gabaraev O. Z., Gabaraeva A. O., Dedegkaeva N. T., Bolotbekov Zh. On the concept of in-situ metal leaching. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):349-357. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-349-357

Актуальность проблемы восполнения выходящих запасов для обеспечения минеральной безопасности России объясняется изменением экономической системы России, изменением географии добычи металлов и ослаблением минерально-ресурсной базы горного производства при переходе от открытого способа к подземному [1–3].

О промышленном выщелачивании цветных металлов известно с XVI в. (Испания). Широкое освоение способа связано с добычей меди на руднике «Кананеа» в Мексике (1924 г.) и на Урале (1930–1940 годы). Подземное выщелачивание металлов из руд в России было предсказано академиком А.Е. Ферсманом.

В настоящее время подземное выщелачивание применяется для добычи цветных металлов в США, России, Франции, Японии, Австралии, ФРГ и др. странах [4–7].

Исследованиями по добыче полезных ископаемых методами выщелачивания на геотехнологических предприятиях ранее других начали заниматься ИПКОН РАН, ВНИИХТ, ВНИПИПТ, СКГМИ (ГТУ) и лаборатории предприятий атомной отрасли.

Опытно-промышленные испытания шахтного подземного выщелачивания были начаты на Блявинском руднике Медногорского медно-серного комбината в 1971 г. Наибольшие успехи достигнуты при выщелачивании меди, урана и золота на предприятиях атомной отрасли СССР.

Как правило, объектами подобных исследований служили руды месторождений, отработка которых традиционными методами была экономически нецелесообразна [8–11]. В 1970-х годах был

отработан первый блок балансовых руд, а в настоящее время Приаргунский комбинат выщелачиванием добывает половину своей продукции.

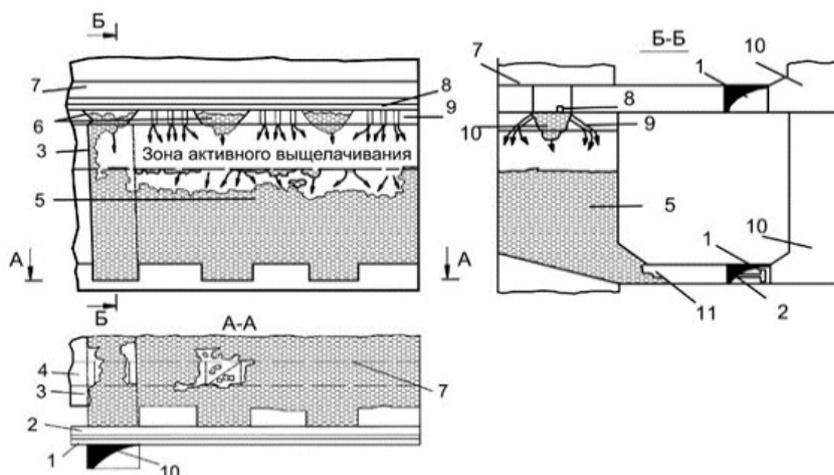
Еще в 1974 г. этим методом получали 20 % мировой добычи меди. Его доля в мировом производстве некоторых полезных ископаемых достигает величины 80% [12–15]. Только в США подземным выщелачиванием ежегодно добывают 300 тыс. тонн меди и 4 тыс. тонн урана.

Целью исследований по указанной проблеме являются в том числе обобщение и систематизация сведений о добыче металлов методами выщелачивания. Задачей исследования является обоснование технологически корректных, безопасных и экономически эффективных параметров технологий шахтного выщелачивания с использованием натуральных и лабораторных методов, включая ретроспективный анализ практики выщелачивания в первую очередь на предприятиях урановой отрасли.

### **Общая часть**

**Условия применения.** Возможность применения технологий выщелачивания определяется в основном минералогическим составом руды и составом породообразующих минералов.

Процесс выщелачивания урана из кусковой руды можно разделить на два периода: начальный, когда уран извлекается с поверхностных и приповерхностных частей рудных кусков, и конечный, когда уран извлекается из глубины куска. Переход урана из руды в раствор реагента заключается в прямом взаимодействии поверхности минералов с растворителем, фильтрующимся через слой руды, и в диффузионном перемещении растворенных солей в подвижном поровом растворе (рис. 1).



**Рис. 1. Блок подземного выщелачивания металлов: план и разрезы:**

1 – этажные штреки; 2 – приемник растворов; 3 – отрезная щель; 4 – отрезной восстающий; 5 – руда; 6 – рудоспуски; 7 – верхний штрек; 8 – трубопровод для подачи раствора; 9 – скважины для подачи раствора; 10 – восстающие; 11 – выпускные выработки

**Fig. 1. In-situ metal leaching block: plan and sections:**

1 – level drifts; 2 – pregnant solution receiver; 3 – slot; 4 – slot raise; 5 – ore; 6 – ore passes; 7 – upper gangway; 8 – solution supply pipeline; 9 – holes for solution supply; 10 – raises; 11 – drawpoints

Таблица 1

**Типизация шахтных систем разработки выщелачивания (по Голику В. И.)**

**Typification of ISL methods (according to V. I. Golik)**

Типы магазина	Варианты	Условия применения
В естественно-управляемых массивах	Из отбитой руды	Устойчивые вмещающие породы
	Из поданной извне руды	
В разрушенных массивах	Под несущими перекрытиями	Неустойчивые породы, склонные к обрушению
	Под разделяющими перекрытиями	
	Без перекрытий	
В искусственно-закрепленных массивах	С твердеющей закладкой	Породы любой устойчивости
	С деревянной крепью	
	С бетонной крепью	
В массивах из хвостов выщелачивания	Кольматированные продуктами выщелачивания	Породы, пригодные для выщелачивания
	С укреплением цементными растворами	
	С химическим укреплением	

Выщелачивание полиметаллических руд с низкой пористостью (менее 5 %) и незначительной проницаемостью растворов (менее 1 м/с) требует их предварительного дробления буровзрывным способом и магазинирования. В СНГ и за рубежом эффективна скважинная отбойка руд с короткозамедленным взрыванием в зажатой среде. В качестве компенсационного пространства используются очистные выработки, суммарный объем которых составляет 30 % объема вовлекаемых в отработку руд.

Условия применения систем разработки приведены в табл. 1.

Технологию шахтного выщелачивания с обрушением руд целесообразно применять при разработке руд различной крепости и устойчивости мощностью от нескольких до десятков метров. Она позволяет управлять как крупностью дробления руд, так и контурами обрушаемой камеры, поэтому может найти применение при разработке рудных тел с неvyдержанными элементами залегания и неравномерной минерализацией.

**Практика шахтного выщелачивания.** Опытно-промышленный блок впервые в мировой практике был отработан в крепких слоистых породах месторождения Восток на предприятии

МАЭП в Северном Казахстане. Особенность его заключалась в том, что выщелачивались не забалансовые некондиционные для традиционных технологий руды, а балансовые.

Параметры блока: длина по простиранию 60 м, высота 36–65 м, средняя мощность 20 м. Подготовительно-нарезные работы включали в себя проведение блоковых восстающих, штреков оросительного, бурового, дренажно-бурового и дренажного горизонта, буровых рассечек, сбоек и отрезного восстающего.

Для бурения скважин применяли станки НКР-100 М, при частичном выпуске использовали погрузочно-доставочные машины МПДН-1 и ЛБ 125/1000.

Отбойку руды осуществляли с двух подэтажей – бурового и дренажно-бурового вертикальными восходящими веерами скважин диаметром 85 мм по сетке 2,5×2,6 м.

Орошение блока производилось как секционно (попеременно восточная и западная половины), так и по всей поверхности, кроме того, в середине эксперимента был подключен промежуточный горизонт орошения на уровне бурового подэтажа. Орошение осуществляется через скважины-оросители в отбитой руде горизонтально, обсаженные перфорированными трубами.

Контрольными выработками по замагистринированной руде установлено:

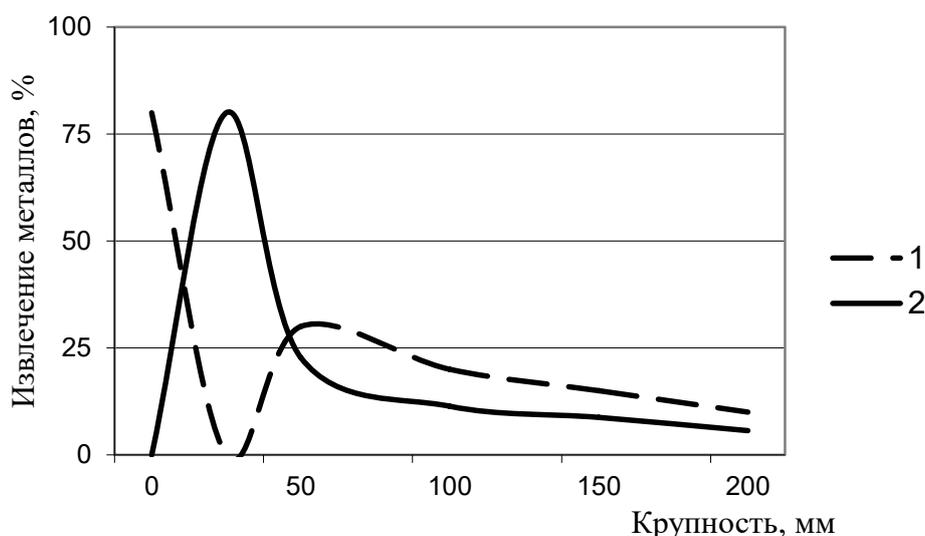
- удовлетворительное дробление получено лишь в зонах выпуска;
- междуштрековые целики раздроблены на крупные обломки размерами более 300 мм и до 1 м;
- часть контура отбойки у бортов оказалась недробленной.

В блоке было произведено рыхление частично выщелоченной руды путем выемки целика, в результате чего образовалась пустота, которую погасили путем взрывания скважинными зарядами. Горная масса более чем на 50% была недоступной для выщелачивания.

Улучшению показателей выщелачивания способствует качественное дробление горного массива (рис. 2).

При подготовке руды этажным принудительным обрушением ее отбивали взрыванием зарядов глубоких скважин на всю высоту этажа. Эта технология перспективна для разработки мощных трещиноватых рудных залежей, не склонных к слеживанию, когда рудная минерализация приурочена к трещинам скола или тектоническим швам.

Такая технология применялась на урановом месторождении Северного Казахстана для отработки балансовых запасов системой слоевого обрушения. Выщелачивали забалансовые руды на двух горизонтах с высотой этажа 40 м. Отбойку руды производили глубокими скважинами.



**Рис. 2. Извлечение металлов из руд при подготовке:**  
1 – с магазинированием; 2 – с этажным обрушением

**Fig. 2. Extraction of metals from ores using preparation:**  
1 – with shrinkage; 2 – with block caving

Для равномерного разрыхления горной (рудной) массы на нижнем горизонте образовывали горизонтальную подсечку высотой 12 м. Подсечные скважины взрывались с опережением на 1–2 ряда относительно скважин в камере. Буровые выработки верхнего горизонта использовались для прокладки по ним оросительных трубопроводов, а невзорванные части скважин – для орошения горной массы.

Во всех случаях стремились рационально совместить функции подготовительно-нарезных выработок (рис. 3).

Технико-экономические показатели системы приведены в табл. 2.

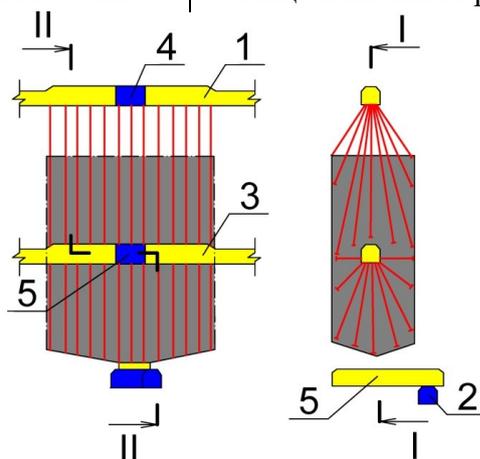
Подобной технологией отработано урансодержащее месторождение Северного Казахстана (Целинный горно-химический комбинат), приуроченное к интрузивному массиву, сложенному лейкократовыми гранит порфирами. Сближенные рудные тела жильного типа

имели мощность от 1–5 см до 0,5–1,5 м и крутое (80–90°) падение. Рудная минерализация была приурочена к различного рода трещинам. Руда и вмещающие породы имели коэффициент крепости 8–15 по М.М. Протодяконову.

На этом руднике использован вариант, при котором нижнюю подсечку образуют обрушением вееров нисходящих скважин из выработок верхнего горизонта и взрыванием концов дренажных скважин, пройденных с горизонта откатки.

Блоки характеризовались параметрами, м: высота 30–90; ширина 20–25; длина 30–40. Растворы подавались на горизонт орошения, где осуществлялась разводка оросительных систем. Продуктивные растворы улавливали с помощью скважин, пробуренных из выработок нижнего горизонта до зеркала подземных вод через 1,5–2 м.

Технико-экономические показатели процессов подготовки руд к подземному шахтному выщелачиванию приведены в табл. 3.



**Рис. 3. Подготовка блока к выщелачиванию с совмещением функций выработок:**

1 – оросительно-буровой штрек; 2 – нижний этажный штрек; 3 – буровой штрек; 4 – верхняя рассечка отрезной щели; 5 – нижняя рассечка отрезной щели; 6 – заходка

**Fig. 3. Preparation of a block for leaching with combining mine working functions:**

1 – sprinkling-drill drift; 2 – lower level drift; 3 – drill drift; 4 – slot upper crosscut; 5 – slot lower crosscut; 6 – cut

Таблица 2

**Показатели технологии с этажным обрушением**

**Performance of block caving**

Наименование	Показатели
Производительность труда забойного рабочего, м <sup>3</sup> /смену	17,7
Производительность бурения скважин, м/смену	12,1
Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	1,2
Выход горной массы с 1 пог. м скважины	5,6
Удельный вес подготовительно-нарезных выработок, %	4–6

## Основные технико-экономические показатели

## Key performance indicators

Наименование показателей	Величина
Производительность труда забойного рабочего, м <sup>3</sup> /смену	14–17
Производительность труда бурильщиков, м/смену	12,1
Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	0,9–1,2
Удельный вес подготовительно-нарезных выработок, %	6–12

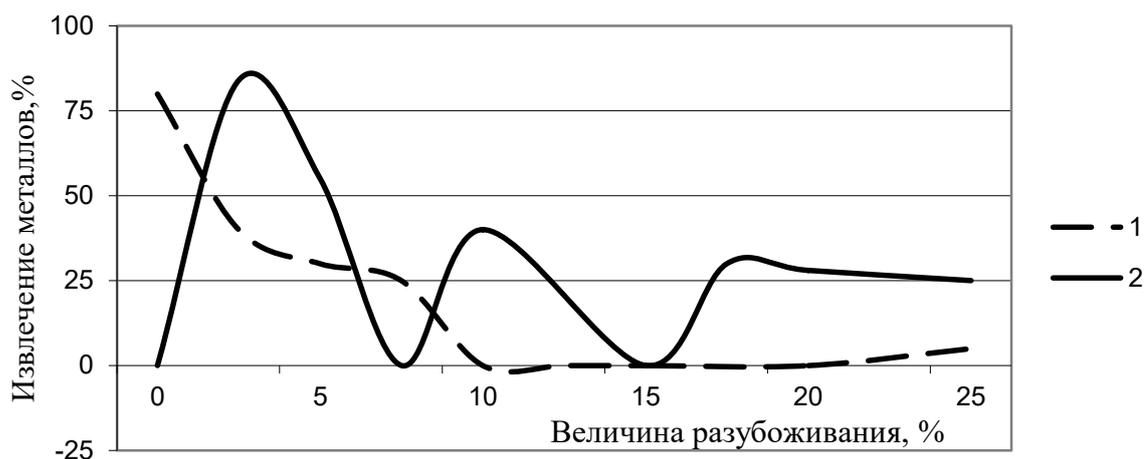


Рис. 4. Зависимость извлечения металлов от величины разубоживания руд при подготовке блоков:  
1 – с магазинированием; 2 – с этажным обрушением

Fig. 4. Dependence of metal recovery on ore dilution during block preparation:  
1 – with shrinkage; 2 – with block caving

Установлено, что на показатели извлечения металлов весьма существенно влияет разубоживание руд (рис. 4).

**Интенсификация процессов выщелачивания.** Основным недостатком шахтного подземного выщелачивания является низкая скорость получения металлов. При подземном выщелачивании даже хорошо раздробленных руд процесс длится 1–2 года, что значительно больше времени добычи традиционными способами. С целью увеличения скорости выщелачивания применяют методы интенсификации процесса.

Химические способы интенсификации выщелачивания имеют ограниченные возможности. Так, увеличение концентрации растворов кислот и щелочей более 5–8% не увеличивает скорость выщелачивания, а приводит к

выщелачиванию пустых карбонатных и силикатных пород, что снижает содержание металлов в концентратах и удорожает процесс. Количество металлов, которое окисляется под действием «парникового эффекта», можно рассчитать на основании минералогического состава руд и данных воздушной и гидрметаллометрических съемок.

Исследования влияния поверхностно-активных веществ на скорость выщелачивания показали, что увеличение ее возможно в 1,5–2 раза за счет добавок.

Биологические способы интенсификации выщелачивания по результативности значительно превосходят химические. Путем адаптации, а также используя мутагенные факторы, получают культуры новых бактерий с большей скоростью выщелачивания.



Физические способы интенсификации процессов выщелачивания обеспечивают увеличение скорости за счет активизации процессов окисления, уменьшения крупности руд и т.п., что позволяет эффективно производить добычу полезных ископаемых при кучном и подземном выщелачивании. Термическое воздействие увеличивает скорость выщелачивания в 2–3 раза при повышении температуры среды до +35 °С при бактериальном выщелачивании и до +80 °С – при химическом выщелачивании.

При воздействии электрическим током низкого напряжения скорость выщелачивания меди увеличивается в 2–3 раза. Воздействие током высокой частоты на сульфидные руды повышает скорость выщелачивания в 5–6 раз.

Основой механического способа интенсификации является перемещение кусков частично выщелоченной руды силой тяжести, воздействием взрыва, механизмами и машинами.

В практике выщелачивания производились опыты по рыхлению блоков выщелачивания взрыванием зарядов ВВ в отбитой руде и скважинах. Ударное воздействие взрывов невелико ввиду значительного (20–40%) объема пустот в материале, подвергаемом рыхлению, воздействие наблюдалось в зоне радиусом порядка нескольких диаметров заряда.

Применение технологий подземного выщелачивания возможно, например, для доработки Архонского, Садонского, Згидского, Холстинского и Фиагдонского месторождений (РСО-Алания). В их выработанном пространстве с суммарной площадью проекции на вертикальную плоскость 2,3 млн м<sup>2</sup>, осталось в виде эксплуатационных потерь и в боковых оруденелых породах около 54 млн тонн рудной массы, обработка которой традиционными технологиями невозможна.

Несмотря на наличие исследований в области физико-химических технологий добычи металлов, некоторые их области изучены недостаточно. Это прежде всего применение

теории и передового опыта выщелачивания к условиям отдельных регионов.

С результатами исследований по рассматриваемой проблеме корреспондируют исследования по сопутствующим направлениям горного дела, включающим подготовку руд к выщелачиванию, осуществление контроля процесса и др. [16–20].

### *Заключение*

Дефицит металлов для промышленности может быть восполнен расширением области применения технологий шахтного подземного выщелачивания металлических руд. Накопленный опыт разработки металлических месторождений позволяет детализировать концепцию развития прогрессивных природо- и ресурсосберегающих технологий добычи металлов подземным способом.

Обоснование корректных, безопасных и эффективных технологий шахтного выщелачивания включает в себя ретроспективный анализ практики выщелачивания на предприятиях урановой отрасли.

Технология шахтного выщелачивания с обрушением руд позволяет управлять крупностью дробления руд и контурами обрушаемых массивов при невыдержанных элементах залегающих и неравномерной минерализацией в процессе разработки мощных залежей, особенно когда рудная минерализация приурочена к трещинам скола или тектоническим швам.

Опыт подтверждает возможность выщелачивания не только некондиционных для традиционных технологий руд, но и балансовых.

Технологии подземного выщелачивания могут продлить сроки эксплуатации месторождений с комфортными условиями обработки, например, на Северном Кавказе, обработка которых традиционными технологиями неэффективна.

Возможности технологий добычи металлов выщелачиванием могут быть расширены за счет творческого применения теории и передового опыта к условиям отдельных регионов.

## Библиографический список

1. Разоренов Ю.И., Голик В. И., Куликов М. М. *Экономика и менеджмент горной промышленности: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по горно-геологическим специальностям*. Новочеркасск; 2010.
2. Дмитрак Ю. В., Камнев Е. Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – путь длиной в 65 лет. *Горный журнал*. 2016;3:6-12.
3. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016;37(2):73-119.
4. Jarvie-Eggart M. E. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World*. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 2015. 804 p.
5. Дмитрак Ю. В., Цидаев Б. С., Дзапаров В. Х., Харебов Г. Х. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России. *Вектор ГеоНаук*. 2019;2(1):9–18.
6. Голик В. И., Буй Х. Н., Масленников С. А., Анищенко В. И. Использование свойств дискретных пород для оптимизации процессов погашения выработанного пространства. *Горные науки и технологии*. 2019;4(3):213-219. DOI: [10.17073/2500-0632-2019-3-213-219](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2019-3-213-219)
7. Гавришев С. Е., Бурмистров К. В., Осинцев Н. А. Концепция устойчивого функционирования и развития горнотехнических систем в переходные периоды. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2019;(3):145-160.
8. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Страданченко С. Г., Хашева З. М. Принципы и экономическая эффективность комбинирования технологий добычи руд. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2015;326(7):6-14.
9. Golik V. I., Doolin A. N., Komissarova M. A., Doolin R. A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste. *International Business Management*. 2015;9(6):1119-1123.
10. Дзапаров В. Х. Угроза безопасности жизнедеятельности региона РСО-Алания. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2009;3(27):75-76.
11. Ляшенко В. И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых. *Маркшейдерский вестник*. 2015;(1):10-15.
12. Oxley A., Smith M. E., Saceres O. Why heap leach nickel laterites? *Minerals Engineering*. 2016;88:53-60
13. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015;157:306-324.
14. Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Голик В. И. Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):104-118. DOI: [10.17073/2500-0632-2020-2-104-118](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118)
15. Мельников И. Т., Гавришев С. Е., Михайлов А. Г., Пыталев И. А., Шевцов Н. С., Васильев К. П. Новый подход для оценки эффективности работы горно-обогачительных комбинатов. *Горная промышленность*. 2012;5(105):60-66.
16. Разоренов Ю. И., Белодедов А. А., Шмаленюк С. А. Определение потерь и разубоживания при разработке месторождений полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2009;(9):47-50.
17. Дмитрак Ю. В., Вержанский А. П. Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000;(6):184-188.
18. Комащенко В. И. Применение современных способов инициирования и конструкций скважинных зарядов для повышения качества дробления массивов горных пород. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2015;2(24):12-17.
19. Ляшенко В. И., Стусь В. П. Охрана окружающей среды в зоне влияния уранового производства. *Безопасность жизнедеятельности*. 2015;3:37-44.
20. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2017;1:170-182.

## References

1. Razorenov Yu. I., Golik V. I., Kulikov M. M. *Economics and management of mining industry: textbook. Manual for graduate students with specialization in geology and mining*. Novocherkassk; 2010. (In Russ.)
2. Dmitrak Yu. V., Kamnev E. N. JSC “Leading Design-and-Survey and Scientific Research Institute of Industrial Technology” – 65 years of development. *Gornyy zhurnal*. 2016;3:6-12. (In Russ.)
3. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016;37(2):73-119



4. Jarvie-Eggart M. E. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World*. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration; 2015. 804 p.
5. Dmitrak Yu. V., Tsidaev B. S., Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Kh. Mineral resource base of nonferrous metallurgy in Russia. *Vektor GeoNauk*. 2019;2(1):9–18. (In Russ.)
6. Golik V. I., Bui X. N., Maslennikov S. A., Anischenko V. I. Using Properties of Discrete Rocks to Optimize Backfilling. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(3):213-219. DOI: [10.17073/2500-0632-2019-3-213-219](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2019-3-213-219) (In Russ.)
7. Gavrishev S. E., Burmistrov K. V., Osintsev N. A. The concept of sustainable functioning and development of mining systems in transition periods. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2019;(3):145-160. (In Russ.)
8. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Stradanchenko S. G., Khasheva Z. M. Principles and economic performance of combining ore mining methods. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2015;326(7):6-14. (In Russ.)
9. Golik V. I., Doolin A. N., Komissarova M. A., Doolin R. A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste. *International Business Management*. 2015;9(6):1119-1123.
10. Dzaparov VKh. A threat to life safety in the North Ossetia-Alania region. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2009;3(27):75-76. (In Russ.)
11. Lyashenko V. I. Environmental protection technologies for development of mineral deposits of complicated structure. *Mine surveying bulletin*. 2015;(1):10-15. (In Russ.)
12. Oxley A., Smith M. E., Caceres O. Why heap leach nickel laterites? *Minerals Engineering*. 2016;88:53-60
13. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015;157:306-324
14. Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Golik V. I. Friendly and Resource-Saving Methods of Underground Ore Mining in Disturbed Rock Masses. 2020;5(2):104-118. DOI: [10.17073/2500-0632-2020-2-104-118](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118) (In Russ.)
15. Melnikov I. T., Gavrishev S. E., Mikhailov A. G., Pytalev I. A., Shevtsov N. S., Vasiliev K. P. A new approach for assessing performance of mining and processing complexes. *Russian Mining Industry*. 2012;5(105):60-66. (In Russ.)
16. Razorenov Yu. I., Belodedov A. A., Shmalenyuk S. A. Determination of losses and dilution in the course of development of mineral deposits. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2009;(9):47-50. (In Russ.)
17. Dmitrak Yu. V., Verzhansky A. P. Trends in the use of equipment for fine grinding of rocks. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2000;(6):184-188. (In Russ.)
18. Komashchenko V. I. Application of modern methods of initiation and designs of blasthole charges to improve the quality of rock mass crushing. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2015;2(24):12-17. (In Russ.)
19. Lyashenko V. I., Stus' V. P. Environmental protection in the zone affected by uranium production. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* 2015;3:37-44. (In Russ.)
20. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmeev M. V. Geotechnical and aero-gasdynamic consequences of undermining of mining leases of Eastern Donbass collieries. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017;1:170-182. (In Russ.)

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-358-366

## Перспективы разработки Садонских месторождений подземным выщелачиванием

И. Ю. Гарифулина<sup>1</sup>, А. Г. Абдулхалимов<sup>2</sup>, И. А. Засеев<sup>2</sup>, Ю. А. Майстров<sup>2</sup><sup>1</sup>Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия<sup>2</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия

**Аннотация:** Проблема восстановления утраченного горнопромышленного потенциала для РСО-Алания имеет особую актуальность. Впервые при решении проблемы функционирования Садонского свинцово-цинкового комбината в связи с истощением запасов и ухудшением качества извлекаемых полиметаллических руд исследована возможность эксплуатации целого месторождения шахтным подземным выщелачиванием металлов. Дана характеристика промышленного оруденения Восточно-Джимидонской рудной зоны в увязке с технологическими особенностями подготовки руд к выщелачиванию. Дана комплексная оценка соответствия свойств руд и параметров их локализации требованиям, предъявляемым технологическим регламентом подземного шахтного выщелачивания. Сделана ревизия запасов свинца и цинка Джимидонского рудного поля с учетом увеличения доступных для переработки запасов при понижении кондиции на металлы. Рассмотрен теоретический аспект задачи качественного разрушения, облегчающего последующее выщелачивание металлов, как приоритетное отделение неповрежденных зерен полезного компонента от минералов пустой породы при избирательном расходе энергии только на разрыв межатомных связей вдоль поверхностей срастаний. Установлен критерий требования к взрывной подготовке руд как обеспечение уровня энергетического воздействия, достаточного для разрушения ослабленных межзерновых связей и недостаточного для разрушения отдельных зерен. Впервые показан механизм расширения минерально-сырьевой базы за счет снижения требований к кондициям на руды при конверсии традиционных технологий подземной разработки месторождений на технологии шахтного подземного выщелачивания. Показана приоритетность обеспечения качества дробления руд для выщелачивания путем оптимизации энергетических показателей взрыва. Эффективность технологий выщелачивания будет определяться с учетом геологических параметров месторождений и обеспечения крупности выщелачиваемого рудного куска.

**Ключевые слова:** Садонский рудный узел; запасы и качество руд; минерально-сырьевая база; свинец; цинк; свинцово-цинковый комбинат; шахтное подземное выщелачивание; металлы; разрушение минералов; кондиция

**Для цитирования:** Гарифулина И. Ю., Абдулхалимов А. Г., Засеев И. А., Майстров Ю. А. Перспективы разработки Садонских месторождений подземным выщелачиванием. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4):358-366. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-358-366

## Prospects for development of Sadon deposits by in-situ leaching

I. Y. Garifulina<sup>1</sup>, A. H. Abdulkhalimov<sup>2</sup>, I. A. Zaseev<sup>2</sup>, Yu. A. Maystrov<sup>2</sup><sup>1</sup>North-Eastern State University, Magadan, Russia<sup>2</sup>North-Caucasian institute of mining and metallurgy (State technological university), Vladikavkaz, Russia

**Abstract:** The problem of restoring the lost mining potential is of particular relevance for North Ossetia-Alania. For the first time, for solving the problem of the Sadon lead-zinc complex, in connection with depletion of reserves and decreasing grade of extracted polymetallic ores, the feasibility of exploiting the whole deposit by in-situ leaching (ISL) method was investigated. Commercial mineralization of the East Dzhimidon ore zone was characterized in relation to the technological features of the ore preparation for leaching. A comprehensive assessment of the compliance of the ores and the parameters of their position with the requirements of in-situ leaching protocols was given. An audit of the lead and zinc reserves of the Dzhimidon ore field was implemented, taking into account the increase in the reserves eligible for processing due to decreasing the cut-off grades. The theory for effective rock rupture provision to facilitate the subsequent metal was considered. The study was focused on priority separation of intact grains of the useful component from barren rock minerals, with selective energy consumption for breaking interatomic bonds along the intergrowth surfaces only. A criterion of ore blast preparation (for ISL) was determined, namely, ensuring the level of energy impact, sufficient for breaking weakened





intergranular bonds but insufficient for rupture of individual grains. For the first time, a mechanism for expanding mineral resource base through decreasing cut-off grades due to shifting from common underground mining methods to in-situ leaching was demonstrated. The priority of ensuring the quality of ore crushing for leaching through optimization of the blast energy parameters was shown. The ISL performance will be determined taking into account geological parameters of the deposits and ensuring the size of ore grain to be leached.

**Keywords:** Sadon ore cluster; reserves and quality of ores; mineral resource base; lead; zinc; lead-zinc complex; ISL; metals; destruction of minerals; acceptable grade

**For citation:** Garifulina I. Y., Abdulkhalimov A. H., Zaseev I. A., Maystrov Yu. A. Prospects for development of Sadon deposits by in-situ leaching. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):358-366. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-358-366

## Введение

Месторождения полиметаллических руд Садонского рудного узла в историческом срезе всегда играли важную роль в стратегическом отношении как для региона, так и для России. Были времена, когда Садон или полностью, или в большой мере обеспечивал потребности России в свинце и цинке. Садонский комбинат был градообразующим для РСО-Алания.

Поэтому проблема восстановления утраченного горнопромышленного потенциала имеет особую актуальность и требует решения.

Сырьевую базу Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК) составляют запасы 11 полиметаллических месторождений. Длительный период их эксплуатации привёл к истощению запасов и ухудшению качества извлекаемых полиметаллических руд при увеличении стоимости их добычи и переработки [1–4].

Из сферы производственной деятельности выведены Холстинское и Левобережное месторождения, а также Фиагдонская группа месторождений. Часть месторождений являются резервными и для начала их промышленного освоения необходимы значительные капитальные вложения (далее – капвложения).

Целью исследования является обоснование возможности конверсии горно-обогачительного производства на принципиально новую технологию, отвечающую условиям рыночных отношений нового времени. Для достижения этой цели необходимо решить задачи детализации геологических условий в целях осуществления конверсии и особенностей буровзрывной подготовки руд к выщелачиванию.

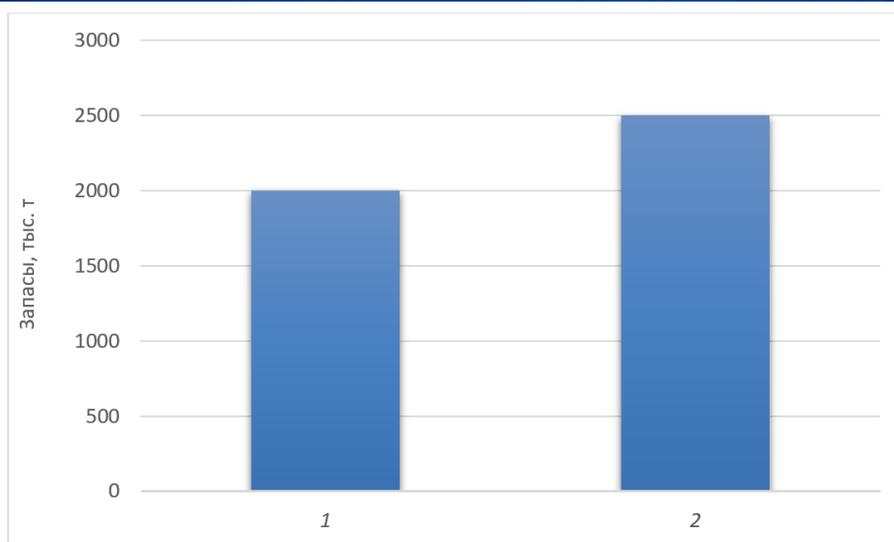
Для обоснования возможности шахтного подземного выщелачивания осуществляется аудит имеющихся и перспективных запасов по геолого-маркшейдерским данным, преимущественно для промышленного оруденения Восточно-Джимидонской рудной зоны Буронской свиты. Осуществляется прогнозирование увеличения промышленных запасов за счет понижения балансового порога технологического передела руд по новой технологии.

Оценивается принципиальная возможность в данных условиях селективного отделения неповрежденных зерен полезного компонента от минералов пустой породы при избирательном расходе энергии только на разрыв межатомных связей вдоль поверхностей сростаний, что должно обеспечить эффективность разработки месторождений методом шахтного подземного выщелачивания.

Рассматриваемая технология имеет многовековую историю. В настоящее время выщелачиванием добывается существенная часть металлов, прежде всего уран, золото и медь. В СССР подземное шахтное выщелачивание стало использоваться с середины прошлого века, особенно активно при добыче урана. На месторождениях Стрельцовской группы эта технология стала основной. В зарубежной практике шахтным подземным выщелачиванием дорабатывают участки месторождений, по разным причинам недоступных для традиционных технологий.

Совершенствование горных и смежных технологий, а также изменение рудной базы с увеличением глубины горных работ и перемещением их в менее комфортные для добычи





**Рис. 1. Увеличение запасов полиметаллических руд при конверсии технологий:**  
1 – традиционная подземная технология; 2 – шахтное подземное выщелачивание

**Fig. 1. Increasing reserves of polymetallic ores due to changing mining method:**  
1 – traditional underground mining; 2 – in-situ leaching

Расширение минерально-сырьевой базы Садонского свинцово-цинкового комбината возможно при конверсии технологии разработки с традиционной горной технологии на шахтное подземное выщелачивание металлов (рис. 1) [5–8].

Такой переход обеспечит как уменьшение потерь и разубоживания руд, так и снижение порога кондиционного содержания полиметаллов в рудах, что позволит перевести часть забалансовых руд в категорию промышленных.

#### Геологические особенности месторождения

Основной объем промышленного оруденения Восточно-Джимидонской рудной

зоны локализован в кристаллических сланцах и амфиболитах Буронской свиты. Здесь выявлены преимущественно пирит-пирротиновые руды с низким содержанием свинца и цинка.

Месторождение было отнесено к 4-й группе сложности, а его запасы классифицированы категорией С2 и составляют 2 287,5 тыс. т руды, в ней 20 тыс. т свинца с содержанием 0,88 %, 67 тыс. т цинка с содержанием 2,94 %.

Морфологически крутопадающие рудные тела представлены или типичными жилами с отчетливыми геологическими контактами, или жильными зонами, контакты которых устанавливаются только по результатам химического опробования (табл. 2).

Таблица 2

#### Взаимосвязь характеристик месторождения с технологическими особенностями

#### Relationship between the deposit geological and structural features and mining methods and performance

Геологические характеристики	Возможные последствия	Технологическое решение
Крутое падение рудных тел	Низкая дробимость пород	Взрывание в зажиме
Пологое падение рудных тел	Потери растворов	Взрывание с компенсацией
Структурная зональность	Разубоживание и потери	Селективная отработка
Минералогическая зональность	Загрязнение продукционных растворов	Оптимизация реагентов
Снижение содержания металлов	Удорожание продукции	Совершенствование процессов

Самостоятельные месторождения золота и серебра в пределах Джимидонского рудного поля неизвестны. Рудопроявления этих металлов по формационной принадлежности можно подразделить на три группы.

Первая из них с профилирующим серебром связана с сульфидными полиметаллическими рудными телами. Серебро ассоциирует с галенитом и в процессе обогащения накапливается в концентрате, откуда извлекается при металлургическом переделе. Серебро играет ведущую роль в извлекаемой ценности руд, его содержание составляет десятки грамм на тонну. Золото накапливается в свинцовых концентратах при содержании в десятые доли грамма на тонну.

Вторая группа представлена самостоятельным оруденением золота, связанным с сильноизменёнными вулканитами, представленными андезитами, испытавшими изменения, выразившиеся в пиритизации, хлоритизации и образовании светлых слюд.

Третья группа представлена эпитермальным золотосеребряным типом оруденения. Золото здесь отличается многообразием минеральных форм, ассоциируя с серебром, с которым образует непрерывный ряд.

Утвержденные запасы руды на участке Бозанг по категории С<sub>1</sub> составляют 457 тыс. т, в которой содержится 10 тыс. т свинца и 22 тыс. т цинка. По сложности геологического строения и характеру распределения оруденения это месторождение отнесено к 3-й группе.

Рудная зона представлена прожилковыми, прожилково-вкрапленными, вкрапленными и массивными рудами, что определяет специфику их взрывного разрушения (табл. 3).

Мощность рудного тела на участке отработки блока колеблется от 1 до 6 м, в среднем составляет 2,8 м. Сульфиды представлены преимущественно пиритом, сфалеритом, галенитом.

На участке опытной отработки среднее содержание свинца составляет 2,7 %, цинка 3,9 %.

Расчет содержания полезных компонентов в блоках выщелачивания, а также мощность, содержание свинца, цинка и меди представлены в табл. 4.

Гидрогеологические условия участка Бозанг сравнительно просты: по отдельным тектоническим разрывам возможен капез, редко струйчатый, а удельный дебит вод составит 1–1,2 л/ч на 1 м горной выработки.

Таблица 3

### Специфика БВР в зависимости от типа оруденения

#### Drilling-and-blasting specific features depending on the type of mineralization

Типы оруденения	Характеристика отбойки	Размер рудного куска, мм
Жильный	На компенсационное пространство	50–80
Прожилково-вкрапленный	На компенсационное пространство	20–30
Вкрапленный	На зажатую среду	10–20
Массивный	На зажатую среду	10

Таблица 4

### Запасы руды и металлов в пределах опытных блоков ШПВ

#### Ore and metal reserves within the ISL test blocks

Блоки	Площадь, м <sup>2</sup>	Мощность, м	Объем, м <sup>3</sup>	Запасы руды, т	Содержание металлов, %		
					свинец	цинк	медь
1	1960	3,42	4743	14 751	2,45	5,45	0,35
2	2000	2,33	4660	14 493	0,52	1,76	0,31
3	2000	3,75	7500	23 325	2,76	4,24	1,8
Итого	5960	2,83	16903	52 569	2,05	3,89	0,63

Таблица 5

## Промышленный потенциал свинца и цинка Джимидонского рудного поля

## Commercial lead and zinc potential of Dzimidon ore field

Категория запасов	Руда, тыс. т	Свинец, тыс. т (сод. %)	Цинк, тыс. т (сод. %)	Сумма металлов, тыс. т (сод. %)
<i>Рудная зона Бозанг</i>				
C <sub>1</sub>	757,7	17,9 (2,36)	43,6 (5,75)	61,5 (8,11)
C <sub>2</sub>	425,7	8,3 (1,95)	30,1 (7,07)	38,4 (9,02)
C <sub>1</sub> + C <sub>2</sub>	1183,4	26,2 (2,21)	73,7 (6,23)	99,9 (8,44)
P <sub>1</sub>	2406,5	46,8 (1,94)	113,4 (4,71)	160,2 (6,65)
Всего по рудной зоне	3589,9	73,0 (2,03)	187,1 (5,21)	260,1 (7,24)
<i>Рудная зона Восточный Джимидон</i>				
C <sub>2</sub>	1287,5	20,2 (0,88)	66,8 (2,94)	87,0 (3,82)
P <sub>1</sub>	3443,6	54,8 (1,59)	143,7 (4,1)	198,5 (5,76)
P <sub>2</sub>	3324,0	28,0 (0,85)	97,0 (0,92)	125,0 (3,77)
Всего по рудной зоне	9055,1	103,0 (1,14)	307,5 (3,40)	410,5 (4,53)
<i>Рудная зона Цагарсар</i>				
P <sub>1</sub>	216,0	7,0 (3,24)	9,9 (4,60)	16,9 (7,84)
<i>Каднукт-Ахшартырагская аномальная зона</i>				
P <sub>1</sub>	1761,0	52,0 (2,95)	82,0 (4,66)	134,0 (7,61)
<i>Всего по Джимидонскому рудному полю</i>				
C <sub>1</sub> + C <sub>2</sub> + P <sub>1</sub> + P <sub>2</sub>	14 622,0	235,0 (1,61)	586,5 (4,01)	821,5 (5,62)

Результаты разведки участка опытных блоков свидетельствуют о высоком качестве полиметаллических руд. В запасах, классифицированных категорией В, содержание свинца составляет 3,41 %, цинка – 6,17 %.

Анализ промышленного оруденения позволяет прогнозировать полиметаллическую рудную зону ещё на 750–800 м с предпосылками существенного (~в 2 раза) увеличения промышленных запасов (табл. 5).

#### Дробление руд для выщелачивания

Задача качественного разрушения (облегчающего последующее выщелачивание полиметаллов) состоит в отделении неповрежденных зерен полезного компонента от минералов пустой породы, что достигается при избирательном расходе энергии только на разрыв межзатомных связей вдоль поверхностей срастаний [9–12].

Процесс разрушения следует проводить с таким уровнем энергетического воздействия, который достаточен для разрушения ослабленных межзатомных связей и недостаточен для разрушения отдельных зерен [13–17].

Из рис. 2 видно, что качество дробления горной массы оказывает наибольшее влияние на

эффективность разработки месторождений методом шахтного подземного выщелачивания.

Горная порода, по М.Н. Тедееву, должна быть разделена на составляющие ее кристаллы минералов для обеспечения доступа технологических растворов. Целесообразно взрывом раскрыть сростки, чтобы осуществить процесс выщелачивания полезного компонента, пользуясь микротрещинами. При этом разупрочнение нужно произвести по межзерновым границам, что обеспечит селективность обработки минералов растворами (рис. 3).

Рудные минералы разупрочняются взрывом в меньшей степени, чем породообразующие (кроме кварца, который наиболее устойчив к взрывному разупрочнению).

Равномерное и оптимальное дробление полиметаллических руд для выщелачивания обеспечивается правильным выбором типа взрывчатых веществ и их энергетических показателей. При взрыве на выброс на разупрочнение горного массива затрачивается примерно 1 % образующейся энергии, а при взрыве в зажатой среде, когда энергия пропорциональна импульсу, – примерно 2,5 %.

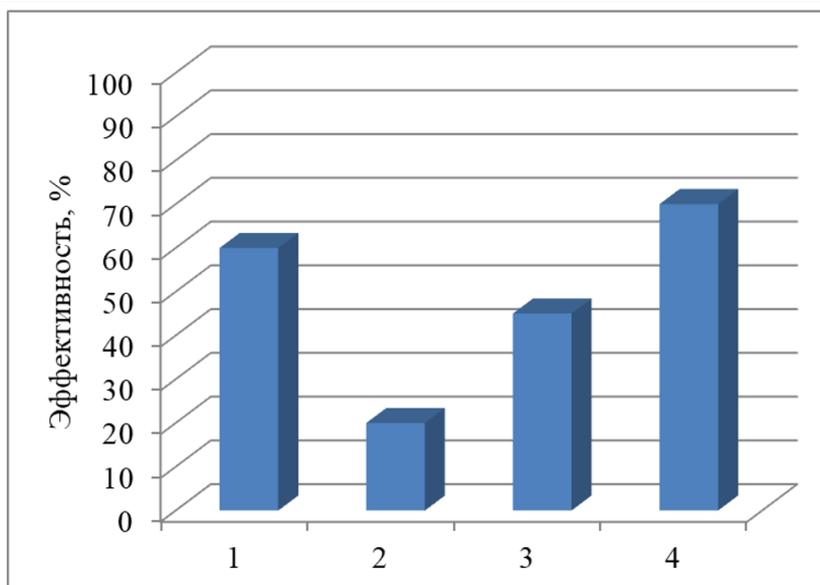


Рис. 2. Влияние на эффективность процессов выщелачивания металлов:

1 – сбор продуктивных растворов; 2 – конструкция блока; 3 – подача выщелачивающего раствора; 4 – дробление руд

Fig. 2. Influence on performance of metal leaching processes:

1 – collection of pregnant solutions; 2 – block design; 3 – supply of leaching solution; 4 – crushing of ores

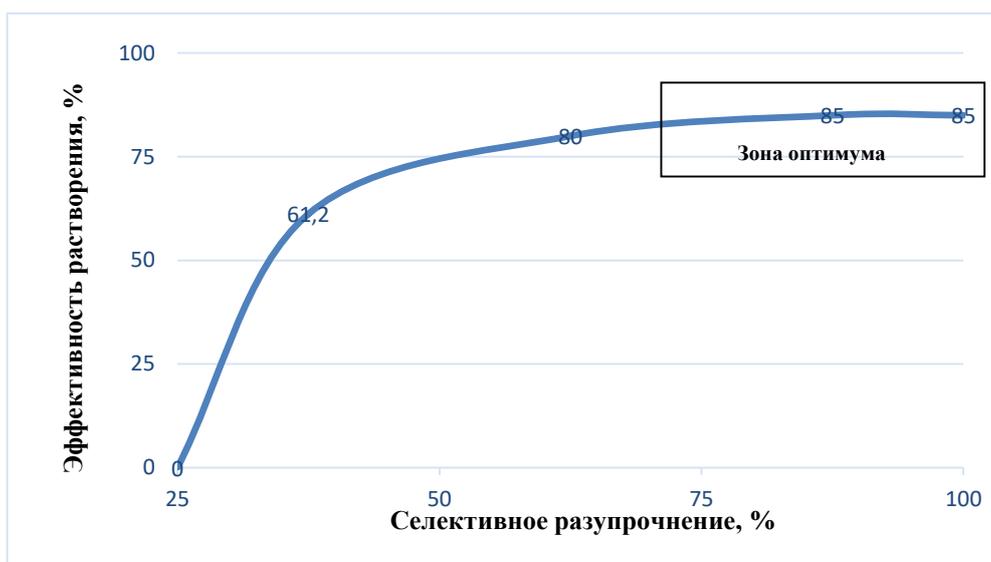


Рис. 3. Зависимость параметров выщелачивания от селективности разупрочнения пород

Fig. 3. Dependence of leaching parameters on the selectivity of rock weakening

При взрывании горнорудной массы в зажиме происходит преимущественно микро-трещинное разрушение и вскрытие рудных минералов для последующего воздействия на них выщелачивающих растворов. При взрыве на выброс разупрочнение и концентрация микротрещин уменьшаются. Поэтому для целей выщелачивания металлов предпочтительнее системы с использованием элементов отбойки в зажатой среде.

Полученные результаты исследования корреспондируют с данными специалистов затронутного направления горного дела [18–20].

#### Заклучение

Перспективы восстановления утраченного потенциала Садонского свинцово-цинкового комбината возможны при комбинировании традиционной горной технологии и технологии шахтного подземного выщелачивания металлов из руд.

Рудные зоны месторождений сложены рудами с удовлетворительными для выщелачивания свойствами, что позволяет управлять процессами комбинированной разработки.

Дробление руд для выщелачивания обеспечивается с оптимизацией энергетических показателей взрывной отбойки.

Конверсия традиционной технологии подземной разработки полиметаллических

месторождений Садона на технологии шахтного подземного выщелачивания может обеспечить расширение минерально-сырьевой базы и восстановление утраченного потенциала предприятия за счет снижения требований к кондициям на руды. Приоритетным условием эффективности конверсионной технологии является учет геологических условий месторождений и обеспечение крупности выщелачиваемого рудного куска.

### Библиографический список

1. Каргинов К. Г. Исследование возможности селективного разупрочнения горных пород и руд в зависимости от их минерального состава и параметров взрыва. *Матер. I Междунар. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр»*. М.: Изд-во РУДН; 2002. С.179–182.
2. Голик В. И., Буй Х. Н., Масленников С. А., Анищенко В. И. Использование свойств дискретных пород для оптимизации процессов погашения выработанного пространства. *Горные науки и технологии*. 2019;4(3):213-219. DOI: [10.17073/2500-0632-2019-3-213-219](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2019-3-213-219)
3. Голик В. И., Комащенко В. И. Отходы обогащения железистых кварцитов как сырье для доизвлечения металлов и использования в качестве закладочных смесей. *Горный журнал*. 2017;(3):43-47.
4. Golik V. I., Gabaraev O. Z., Maslennikov S. A., Khasheva Z. M., Shulgaty L. P. The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development. *The Social Sciences (Pakistan)*. 2016;11(18):4348-4351.
5. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Каргинов К. Г. Основа устойчивого развития РСО-Алания – горнодобывающая отрасль. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2017;9(2(32)):163-171.
6. Дмитрак Ю. В., Цидаев Б. С., Дзапаров В. Х., Харебов Г. Х. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России. *Вектор Гео Наук*. 2019;2(1):9-18.
7. Дмитрак Ю. В. Теория движения мелющей загрузки и повышение эффективности оборудования для тонкого измельчения горных пород: автореф. дисс... д-ра техн. наук. М.; 2000. 44 с.
8. Chen T., Lei C., Yan B., Xiao X. Metal recovery from the copper sulfide tailing with leaching and fractional precipitation technology. *Hydrometallurgy*. 2014;147-148:178-182.
9. De Oliveira D.M., Sobral L.G.S., Olson G.J., Olson S.B. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. *Hydrometallurgy*. 2014;147-148:223-227.
10. Дмитрак Ю. В., Шишканов К. А. Разработка вероятностной кинематической модели мелющих тел в помольной камере вибрационной мельницы. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2010;(12):302-308.
11. Захаров Е. И., Анциферов С. В., Саммаль А. С., Никулин И. Б. Изучение механизма природных процессов – основа решения экологических проблем при добыче твердых полезных ископаемых. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2016;(3):24-30.
12. Sekisov A. G., Shevchenko Y. S., Lavrov A. Y. Prospects for underground leaching in gold mines. *Journal of Mining Science*. 2016;52(1):115-120. DOI: [10.1134/S1062739116010198](https://doi.org/10.1134/S1062739116010198)
13. Горбатова Е. А., Емельяненко Е. А. Переработка окисленных медных руд, как фактор развития и расширения минерально-сырьевой базы ЗАО «Михеевский ГОК». *Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии*. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН; 2016. С. 276–277.
14. Комащенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2016;2:95-101.
15. Гавришев С. Е., Корнилов С. Н., Пыталев И. А., Гапонова И. В. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов. *Горный журнал*. 2017;(12):46-51.
16. Дмитрак Ю. В., Цидаев Б. С., Дзапаров В. Х., Харебов Г. Х. Минерально-сырьевая база цветной металлургии России. *Вектор ГеоНаук*. 2019;2(1):9-18.
17. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review: A review*. 2016;37(2):73-119.



18. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2017;1:170-182

19. Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Голик В. И. Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):104-118. DOI: [10.17073/2500-0632-2020-2-104-118](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118)

20. Brigida V. S., Kozhiev K. K., Saryan A. A., Dzhioeva A. K. Time-space problems in geocology. An inter-disciplinary approach: *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;4:20-32. DOI: [10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32)

## References

1. Karginov K. G. Study into the feasibility of selective weakening of rocks and ores depending on their mineral composition and blasting parameters. *Proc. of international conf. "Resource-reproducing, low-waste, and environmentally sound processes for subsoil development."* Moscow: RUDN Publ.; 2002. P. 179–182

2. Golik V. I., Bui X. N., Maslennikov S. A., Anischenko V. I. Using Properties of Discrete Rocks to Optimize Backfilling. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2019;4(3):213-219. DOI: [10.17073/2500-0632-2019-3-213-219](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2019-3-213-219) (In Russ.)

3. Golik V. I., Komashchenko V. I. Ferruginous quartzite beneficiation tailings as resources for additional extraction of metals and for use as backfilling mixture component. *Mining Journal*. 2017;(3):43-47. (In Russ.)

4. Golik V. I., Gabaraev O. Z., Maslennikov S. A., Khasheva Z. M., Shulgaty L. P. The provision of development conversion perspectives into underground one for Russian iron ore deposits development. *The Social Sciences (Pakistan)*. 2016;11(18):4348-4351.

5. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Karginov K. G. The basis of North Ossetia-Alania sustainable development is its mining industry. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017;9(2(32)):163-171. (In Russ.)

6. Dmitrak Yu. V., Tsidaev B. S., Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Kh. Mineral resource base of nonferrous metallurgy in Russia. *Vektor GeoNauk*. 2019;2(1):9-18. (In Russ.)

7. Dmitrak Yu. V. *Theory of crushing medium motion and increasing performance of equipment for fine crushing of rocks*. Abstract of the Thesis for a Doctor's Degree in Engineering. Moscow; 2000. 44 p. (In Russ.)

8. Chen T., Lei C., Yan B., Xiao X. Metal recovery from the copper sulfide tailing with leaching and fractional precipitation technology. *Hydrometallurgy*. 2014;147-148:178-182.

9. De Oliveira D.M., Sobral L.G.S., Olson G.J., Olson S.B. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. *Hydrometallurgy*. 2014;147-148:223-227.

10. Dmitrak Yu. V., Shishkanov K. A. Development of a probabilistic kinematic model of grinding bodies in grinding chamber of a vibration mill. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2010;(12):302-308. (In Russ.)

11. Zakharov E. I., Antsiferov S. V., Sammal A. S., Nikulin I. B. Study of the mechanism of natural processes as the basis for solving environmental problems in the course of mineral mining. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2016;(3):24-30. (In Russ.)

12. Sekisov A. G., Shevchenko Y. S., Lavrov A. Y. Prospects for underground leaching in gold mines. *Journal of Mining Science*. 2016;52(1):115-120. DOI: [10.1134/S1062739116010198](https://doi.org/10.1134/S1062739116010198)

13. Gorbatoeva E. A., Emelianenko E. A. Processing of oxidized copper ores as a factor of development and expansion of mineral resource base of JSC "Mikheevsky GOK". *Current problems of theoretical, experimental, and applied mineralogy*. Syktyvkar: IG Komi Scientific Center of RAS Ural Branch Publ.; 2016. P. 276-277. (In Russ.)

14. Komashchenko V. I., Vasiliev P. V., Maslennikov S. A. Preparation of reliable resource base for underground development of KMA deposits. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2016;2:95-101. (In Russ.)

15. Gavrishev S. E., Kornilov S. N., Pytalev I. A., Pytalev I. A., Gaponova I. V. Increasing economic performance of mining enterprises due to involvement of technogenic georesources in exploitation. *Mining Journal*. 2017;(12):46-51. (In Russ.)

16. Dmitrak Yu. V., Tsidaev B. S., Dzaparov V. Kh., Kharebov G. Kh. Mineral resource base of non-ferrous metallurgy in Russia. *Vektor GeoNauk*. 2019;2(1):9-18. (In Russ.)

17. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review: A review*. 2016;37(2):73-119.

18. Kachurin N. M., Stas G. V., Korchagina T. V., Zmееv M. V. Geotechnical and aero-gasdynamic consequences of undermining of mining leases of Eastern Donbass collieries. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2017;1:170-182. (In Russ.)

19. Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Golik V. I. Friendly and Resource-Saving Methods of Underground Ore Mining in Disturbed Rock Masses. 2020;5(2):104-118. DOI: [10.17073/2500-0632-2020-2-104-118](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118) (In Russ.)

20. Brigida V. S., Kozhiev K. K., Saryan A. A., Dzhioeva A. K. Time-space problems in geocology. An inter-disciplinary approach: *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;4:20-32. DOI: [10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32)



## ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-367-375

**Анализ энергетических показателей работы  
горнопроходческих комплексов угольной шахты****А. Б. Садридинов**

ООО «Энергоблок-М», г. Москва, Россия

**Аннотация:** Рост интенсивности ведения проходческих работ, энерговооруженности труда и затрат топливно-энергетических ресурсов обуславливает необходимость не только повышать энергоэффективность производственных процессов производства, но и снижать неизбежно возникающие потери энергии. Условия ведения горнопроходческих работ определяются сочетанием комплекса взаимно воздействующих факторов (геологических, технологических и организационных), а оценка степени их влияния на энергоэффективность технологических процессов требует глубокого детального исследования. Для критериальной оценки эффективности ведения горнопроходческих работ предлагается использование показателей уровня энергопотребления, эффективности и качества прохождения горной выработки сменными бригадами, позволяющими объективно оценить их работу. Показатели технологического и удельного расхода электроэнергии при ведении проходческих работ изменяются в широком диапазоне, поэтому для обеспечения устойчивой работы сменными бригадами необходимо придерживаться рекомендуемых показателей, определяющих оптимальные темпы проходки и ограничения выхода за допустимые или предельные режимы. Исследованы статистические модели показателей, определяющих энергоэффективность работы горнопроходческих комплексов, на примере угольной шахты «Северная». Предложены показатели уровня энергопотребления, эффективности и качества прохождения горной выработки сменными бригадами. Определены законы распределения для основных показателей, характеризующих энергоэффективность ведения горнопроходческих работ. Разработаны рекомендации по обеспечению устойчивой работы горнопроходческих комплексов в течение всего периода проходки участков. С точки зрения организации ведения горнопроходческих работ необходимо осуществление постоянного контроля параметров и темпов проходки, качества подготовки забоя, своевременного технического обслуживания и ремонта машин и оборудования, управления технологическим процессом путем обеспечения оптимальных режимов работы горнопроходческого комплекса.

**Ключевые слова:** горнопроходческие работы; электроснабжение, угольная шахта, энергоэффективность, горнопроходческие комплексы; модели

**Для цитирования:** Садридинов А. Б. Анализ энергетических показателей работы горнопроходческих комплексов угольной шахты. *Горные науки и технологии*. 2020;5(4):367-375. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-367-375

**Analysis of energy performance of heading sets of equipment at a coal mine****A. B. Sadridinov**

Energoblok-M LLC, Moscow, Russia

**Abstract:** The growth of volume of tunneling, power supplied per job, and consumption of fuel and energy resources makes it necessary to increase energy performance of production processes with reducing energy losses. Tunneling conditions are determined by a combination of mutually influencing factors (geological, technological and organizational), and assessing their impact on tunneling energy performance requires a deep detailed study. For criterion assessment of tunneling performance, indicators of energy consumption, performance, and quality of tunneling performed by shift crews, allowing to objectively assess their work, were proposed. Indicators of process and specific power consumption in the process of tunneling vary over a wide range, therefore, to ensure smooth equipment operation, shift crews must adhere to the recommended indicators that determine the optimum rates of tunneling and enables adherence to permissible operation modes. Statistical models of energy performance indicators of heading sets of equipment operation were investigated using the example of the Severnaya coal mine. Indicators of energy consumption, energy performance, and tunneling (on shift basis) were proposed. Distribution laws have been determined for the main indicators characterizing tunneling energy performance. Recommendations have been developed to ensure sustainable operation of heading sets of equipment throughout the entire period of tunneling. Tunneling requires permanent monitoring its parameters and rates of advance, the quality of



face preparation, timely maintenance and repair of machinery and equipment, control of the process through ensuring optimal operating modes of the heading sets of equipment.

**Keywords:** tunneling; power supply, coal mine, energy performance, heading set of equipment; models

**For citation:** Sadridinov A. B. Analysis of energy performance of heading sets of equipment at a coal mine. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(4):367-375. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-4-367-375

## Введение

Повышение энергоэффективности горных предприятий, осуществляющих добычу полезных ископаемых подземным способом, является актуальной научной и практической задачей, стоящей в области эффективного освоения природных ресурсов и подземного пространства. При осуществлении мероприятий по энергосбережению на горном производстве необходимо обладать информацией о количестве прямых затрат энергии на основные технологические процессы, включая работу вспомогательных установок. Для производственных процессов в области строительства подземных сооружений и шахт такая информация необходима, т.к. в реальности может оказаться, что снижение прямых затрат энергии будет сопровождаться ростом совокупных затрат, и общие затраты энергии превысят первоначальный базовый уровень. Рост интенсивности ведения проходческих работ, энерговооруженности труда и затрат топливно-энергетических ресурсов обуславливает необходимость не только повышать энергоэффективность производственных процессов производства, но и снижать неизбежно возникающие потери энергии [1, 2]. Кроме того, необходимо обратить внимание на то, что анализ энергетических показателей горнопроходческих работ на основе построенных математических моделей открывает путь к разработке специализированного обеспечения для контроля качества ведения горнопроходческих работ, а также выработки организационных мероприятий по улучшению этого качества на основе решения так называемых обратных задач [10–14].

Электропотребление горнопроходческих комплексов является предметом более

ранних исследований, среди которых есть достаточно оригинальные работы [3–8]. Но в большинстве случаев разработка моделей осуществлялась не для целей оценки эффективности горнопроходческих работ, а для определения параметров и режимов работы горнопроходческих комплексов, что тоже очень важно, но это только одно из возможных направлений решаемых задач.

## Описание экспериментальной площадки

Экспериментальные исследования, реализуемые в работе, проводились на базе проходческих участков шахты «Северная», г. Воркута, где ведение горнопроходческих работ осуществляется с использованием проходческих комбайнов MB670, JOYR75, 12CM30 и КП-21. Конечно, в каждом случае схемы электроснабжения проходческих участков угольных шахт отражают специфику технологических решений конкретного предприятия, но известны также общие подходы к их проектированию, характеристики, режимы работы, методы выбора оборудования и т.д. [9].

Работы на шахте «Северная» ведутся по породе, по углю, по углю с присечкой. Транспортная схема включает в себя скребковые конвейеры 2СР75 и ленточные конвейеры 3Л-1200. Проходческие работы также ведутся без применения буровзрывных работ, но по грунтам, при осевых усилиях сжатия  $\sigma_{сж}$  в пределах от 20 до 70 МПа. Стандартное сечение горной выработки 9 м<sup>2</sup>. Нарезка вентиляционных и откаточных штреков в зависимости от мощности пласта (от 1,5 до 1,9 м) обеспечивает попутную добычу полезного ископаемого. Плановые показатели проходки для различных участков составляют от 2300 до 9500 п.м.

### Анализ электропотребления на горно-проходческом участке

Разность по суммарному годовому расходу электроэнергии между сменами  $\Delta W$  для каждого из участков колеблется от 133 до 5127 кВт·ч ( $\Delta W\% = 0,91-4,1$ ). При этом для участков с большей энерговооруженностью этот показатель выше как в абсолютном, так и в относительном соотношении (между сменами участков).

Одним из критериев оценки уровня энергопотребления при анализе эффективности проходческих работ с точки зрения рационального использования электроэнергии сменными бригадами предлагается использовать показатель

$$k_{W_{cm}} = \frac{\bar{W}_{cm} - W_{cmi}}{\bar{W}_{cm}} \cdot 100, \%$$

где  $W_{cmi}$  – расход электроэнергии за  $i$ -ю смену на проходческом участке, кВт·ч;  $\bar{W}_{cm}$  – среднесменный расход электроэнергии по совокупному потреблению всеми сменами проходческого участка, кВт·ч.

Разность по годовой суммарной массе извлекаемой из горной выработки породы между сменами  $\Delta Q_T$  для каждого из участков колеблется от 87 до 2301 т ( $\Delta Q_T\% = 1,1-4,41$ ). При этом абсолютные и относительные показатели по годовой суммарной массе извлекаемой породы как для участков, так и между сменами внутри участков, практически не зависят от их энерговооруженности.

Этот факт свидетельствует о том, что при прохождении горных выработок постоянного сечения объем и масса извлекаемой породы зависят от ее характеристик, а также технических характеристик проходческих комплексов и режима их работы.

При оценке эффективности проходческих работ с точки зрения рационального использования электроэнергии сменными бригадами и качества прохождения горных выработок предлагается использовать коэффициент

$$k_{Q_T} = \frac{\bar{Q}_T - Q_{Ti}}{\bar{Q}_T} \cdot 100, \%$$

где  $Q_{Ti}$  – производительность  $i$ -й смены проходческого участка по горной массе, т;  $\bar{Q}_T$  – среднесменный объем извлекаемой горной массы на проходческом участке, т.

Разность по годовым показателям по протяженности проходки горной выработки между сменами  $\Delta Q_{pm}$  для каждого из участков колеблется от 13,9 до 84,2 п.м ( $\Delta Q_{pm}\% = 1,35-7,07$ ). При этом абсолютные и относительные показатели проходки для участков и между сменами внутри участков практически не зависят от их энерговооруженности.

При пересчете итоговых показателей  $\Delta Q_{pm}$  по отношению к величине среднесменной проходки  $\bar{Q}_{pm}$  для каждого участка разница в затраченном времени между сменными бригадами составляет от 4 до 35 смен (24–210 ч в год).

Этот факт свидетельствует о том, что при прохождении горных выработок показатель проходки  $Q_{pm}$  зависит не только от горно-геологических и технологических факторов, но и правильной (рациональной) организации работы бригады в течение смены.

При оценке эффективности проходческих работ с точки зрения рационального использования электроэнергии сменными бригадами предлагается использовать в качестве критерия оценки эффективности прохождения горных выработок показатель

$$k_{Q_{pm}} = \frac{\bar{Q}_{pm} - Q_{pmi}}{\bar{Q}_{pm}} \cdot 100, \%$$

где  $\bar{Q}_{pmi}$  – средняя производительность  $i$ -й смены проходческого участка по погонным метрам горной выработки, п.м;  $\bar{Q}_{pm}$  – среднесменное значение протяженности пройденной горной выработки на проходческом участке, п.м.

### Статистические модели показателей энергоэффективности проходческих участков

В работе была поставлена задача на основании статистических данных технологического расхода электроэнергии и объема выполненных проходческих работ установить законы распределения для показателей, характеризующих энергоэффективность проходческих участков.

В соответствии с известной методикой аналитических исследований выполнен анализ производительности и режимов потребления электрической энергии на проходческих участках шахты «Северная» [1, 2].

Среднесменные показатели производительности участков по объему извлекаемой горной массы  $Q_1$  (т), пройденным погонным метрам горной выработки  $Q_2$  (пм), а также по сменному потреблению электрической энергии  $W$  (кВт·ч) и ее удельному расходу  $\omega_1$  (кВт·ч/т) и  $\omega_2$  (кВт·ч/пм) приведены в табл. 2.

Диапазон изменения показателей по удельному расходу электроэнергии относительно горной массы на участках составляет  $\omega_1 = 2,4\text{--}2,57$  кВт·ч/т ( $\Delta\epsilon = 6,6\%$ ), относительно проходки  $\omega_2 = 51,9\text{--}65,8$  кВт·ч/пм ( $\Delta\epsilon = 21\%$ ). Такой разброс значений можно объяснить тем, что непосредственное извлечение горной массы в рамках технологического процесса обусловлено её объемом, плотностью породы, степенью разрыхления и полноты загрузки ковша или стола питания погрузочной машины. При этом удельный расход электроэнергии на проходку одного погонного метра выработки в значительной степени зависит от крепости проходимых горных пород  $f$ , их сопротивляемости усилию резания  $q_{сж}$  исполнительного органа проходческого комбайна или осевого усилия подачи буровой установки  $P_{ос}$ .

Диапазон изменения средних показателей между сменами в пределах участков не превышает 2 %, что свидетельствует о достаточно устойчивой работе в течение года.

На следующем этапе ставилась задача установления законов распределения, которым подчиняются среднесменные показатели работы проходческих участков с целью определения их устойчивых уровней и диапазона допустимых отклонений. Это позволяет обосновать нормативные (плановые) показатели для проходческих участков и оценить потенциал повышения эффективности производства проходческих работ. Для установления законов распределения анализируемых величин в зависимости от частотного распределения определяются абсолютные и относительные показатели вариационных рядов.

На основании свойства мажорантности средних величин (когда сумма положительных отклонений от среднего равна сумме отрицательных отклонений) распределение вероятности  $P(\omega)$  близко к нормальному закону при условии  $\sigma > 1,25\bar{d}$ .

В случае если коэффициент вариации  $v$  меньше 33%, то совокупность  $[\omega]$  является однородной (для распределений, близких к нормальному закону).

Результатом анализа статистических показателей энерготехнологических параметров проходческих участков является следующее:

1. Для представленных показателей характерен достаточно большой размах вариации относительно средней величины. Характеризующий его коэффициент осцилляции изменяется в диапазоне  $k_R = 30\text{--}170\%$ . Наибольший размах вариации относительно среднего значения приходится на показатели удельного расхода электроэнергии  $\omega_1$  (кВт·ч/т),  $\omega_2$  (кВт·ч/пм) и производительности  $Q_2$  (пм).

Таблица 2

Среднесменные показатели для проходческих участков (по итогам года)

Average shift performance indicators for drifting areas (at year-end)

Показатель	Размерность	Проходческие участки					
		№ 1	№ 5	№ 6	№ 8	№ 9	№ 10
$Q_1$	т	45,94	76,24	19,57	87,31	173,28	45,02
$Q_2$	пм	1,99	3,45	2,02	3,53	8,47	2,03
$W$	кВт·ч	109,6	182,1	49,35	207,6	415,4	107,6
$\omega_1$	кВт·ч/т	2,41	2,47	2,57	2,49	2,5	2,47
$\omega_2$	кВт·ч/пм	59,95	56,5	26,8	62,6	51,92	57,87

1. Средние и медианные значения показателей производительности практически совпадают: относительная погрешность  $\Delta\varepsilon = +0,01\%$ , для технологического расхода электроэнергии –  $\Delta\varepsilon = +2,6\%$ . Однако для удельного расхода электроэнергии относительная погрешность  $\Delta\varepsilon = -9\%$ . Последнее свидетельствует о необходимости установления причин такого несоответствия.

2. Коэффициенты асимметрии, эксцесса и вариации указывают на соответствие показателей производительности и технологического расхода электроэнергии нормальному закону распределения.

3. Для показателей удельного расхода электроэнергии характерна положительная асимметрия и малый эксцесс, что, с учетом однородности выборки, характерно для логнормального закона или гамма-распределения.

Установление законов распределения среднесменных показателей выполнялось для

четырёх проходческих участков в соответствии с [3, 4]. Гистограммы и функции плотности распределения на примере проходческого участка № 1 шахты «Северная» представлены на рис. 1–3.

Статистический анализ показал, что изменение технологического расхода электроэнергии  $W$  подчиняется равномерному закону распределения, удельный расход электроэнергии на тонну извлекаемой горной породы  $\omega_1$  – гамма-распределению, удельный расход электроэнергии на один погонный метр горной выработки  $\omega_2$  – логнормальному закону.

В результате проверки достоверности по критериям согласия Пирсона  $\chi^2$ , Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Вилка было установлено, что характер изменения случайных величин исследуемых параметров соответствуют принятым гипотезам о законах распределения [15–18].

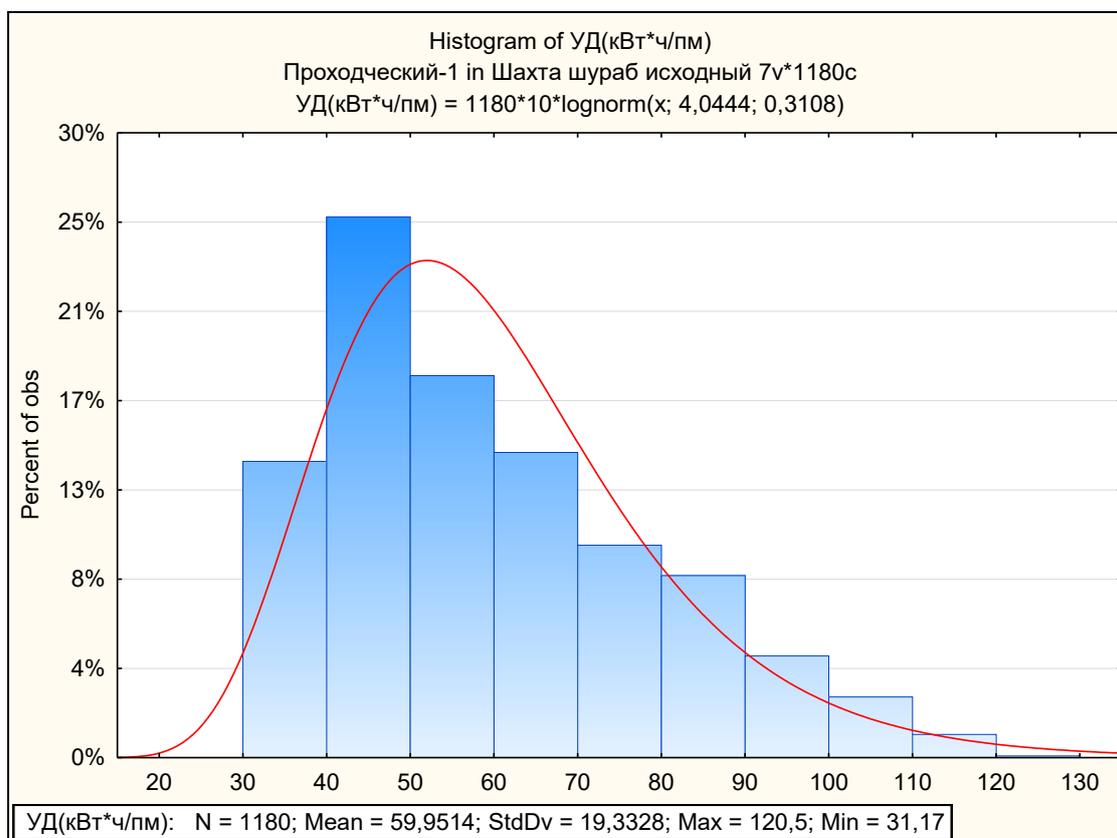


Рис. 1. Гистограмма функции плотности распределения  $f^*(\omega_2)$

Fig. 1. Density function histogram  $f^*(\omega_2)$

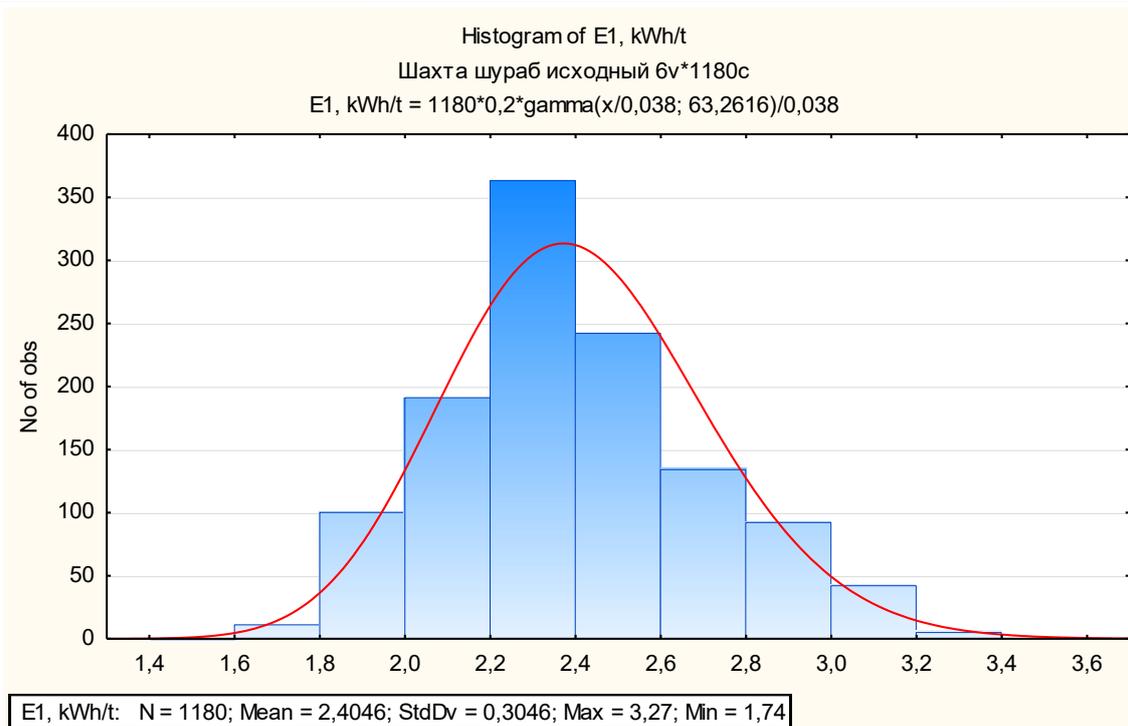


Рис. 2. Гистограмма функции плотности распределения  $f^*(\omega_1)$

Fig. 2. Density function histogram  $f^*(\omega_1)$

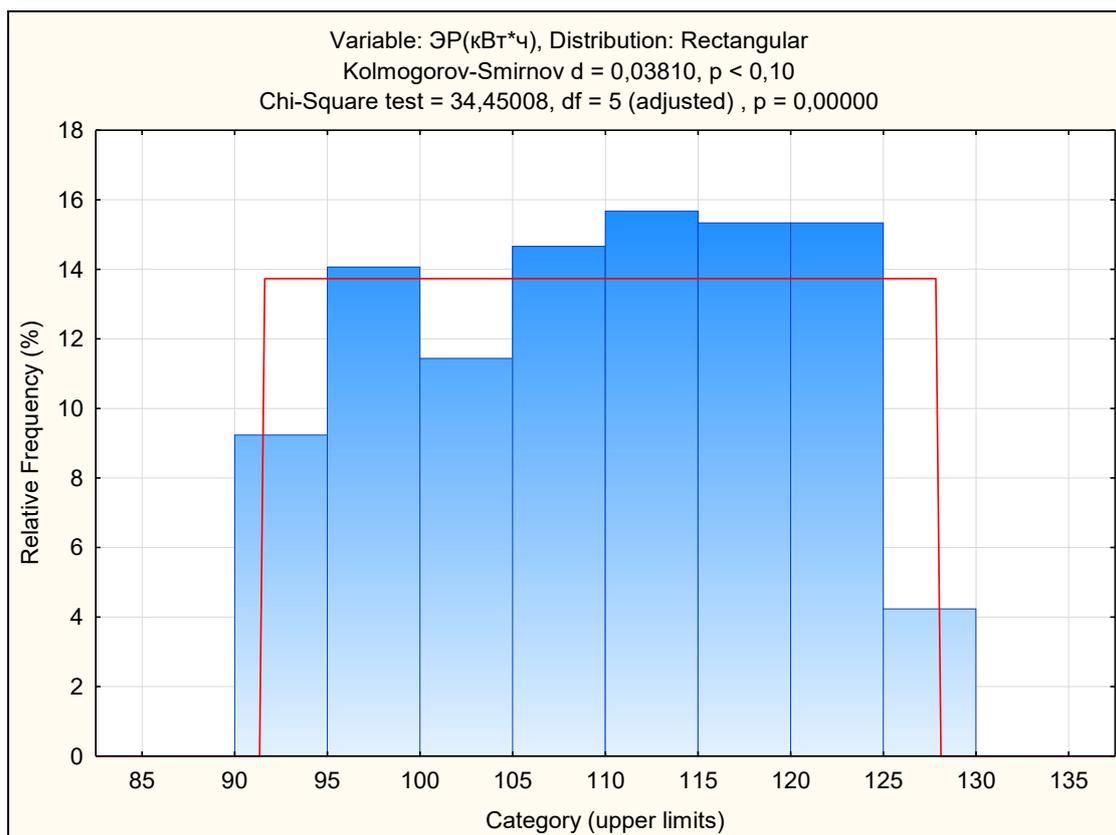


Рис. 3. Гистограмма функции плотности распределения  $f^*(W)$

Fig. 3. Density function histogram  $f^*(W)$

Для распределения частот  $f(W)$  характерна симметрия относительно  $\bar{W}$ , т.е. его среднее значение  $M$  практически совпадает с медианным  $M_e$ . С учетом среднеквадратического отклонения устойчивый уровень электропотребления проходческого участка определится в диапазоне  $\bar{W} \pm \sigma_W$ .

Для распределения частот  $f(\omega_2)$  характерна незначительная асимметрия относительно  $\bar{\omega}_2$ , т.е. его среднее значение  $M$  практически совпадает с медианным  $M_e$ .

С учетом среднеквадратического отклонения устойчивый уровень электропотребления проходческого участка определится в диапазоне  $\bar{\omega}_2 \pm \sigma_{\omega_2}$ .

Таким образом, статистические модели показателей энергоэффективности проходческих участков можно считать сформированными.

#### Выводы:

1. Условия ведения горнопроходческих работ определяются сочетанием комплекса взаимно воздействующих факторов (геологических, технологических и организационных), а оценка степени их влияния на энергоэффективность технологических процессов требует глубокого детального исследования.

2. В качестве критериев оценки эффективности ведения горнопроходческих работ

предлагается использование показателей уровня энергопотребления, эффективности и качества прохождения горной выработки сменными бригадами, позволяющими объективно оценить их работу.

3. Показатели технологического и удельного расхода электроэнергии при ведении проходческих работ изменяются в широком диапазоне, поэтому для обеспечения устойчивой работы сменным бригадам необходимо придерживаться рекомендуемых показателей, определяющих оптимальные темпы проходки, и ограничений выхода за допустимые или предельные режимы.

4. При планировании показателей энергоэффективности необходимо учитывать горно-геологические условия, технические характеристики проходческих комплексов и режимы их работы.

С точки зрения организации ведения горнопроходческих работ необходимо осуществление постоянного контроля параметров и темпов проходки, качества подготовки забоя, своевременного технического обслуживания и ремонта машин и оборудования, управления технологическим процессом путем обеспечения оптимальных режимов работы горнопроходческого комплекса.

#### Библиографический список

1. Пичуев А. В., Садридинов А. Б. Методы оценки энергоэффективности проходческих работ в условиях городского подземного строительства. Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование технологии строительства шахт и сооружений». Донецк, Украина. 2012;18:25-27.

2. Пичуев А. В., Садридинов А. Б. Энергетические характеристики проходческих комбайнов с исполнительными органами избирательного действия. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2013;(9):348-350.

3. Liu X., Zhang Y., Zhang K. Optimization control of energy consumption in tunneling system of earth pressure balance shield tunneling machine. *Engineering Letters*. 2020;28(2):551-558.

4. Liu X., Zhao Z. Coordinated optimization control of shield tunneling machine based on predictive function control. *Engineering Letters*. 2020;28(3):281-287.

5. Liu X., Shao C. Present status and prospect of shield machine automatic control technology. *Jixie Gongcheng Xuebao. Journal of Mechanical Engineering*. 2010;46(20):152-160. DOI: [10.3901/JME.2010.20.152](https://doi.org/10.3901/JME.2010.20.152)

6. Zhang Q., Qu C., Kang Y., Huang G., Cai Z., Zhao Y., Zhao H., Su P. Identification and optimization of energy consumption by shield tunnel machines using a combined mechanical and regression analysis *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2012;28(1):350-354. DOI: [10.1016/j.tust.2011.12.003](https://doi.org/10.1016/j.tust.2011.12.003)

7. Yang X., Gong G.-F., Yang H.-Y., Jia L.-H., Ying Q.-W. A cutterhead energy-saving technique for shield tunneling machines based on load characteristic prediction. *Journal of Zhejiang University: Science A*. 2015;16(5):418-426. DOI: [10.1631/jzus.A1400323](https://doi.org/10.1631/jzus.A1400323)

8. Lyakhomskiy A., Perfilieva E., Petrochenkov A., Bochkarev S. Conceptual design and engineering strategies to increase energy efficiency at enterprises research, technologies and personnel. In: *Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovation 2015 4th)*. 2015. P. 44-47.
9. Дзюбан В. С., Ширин И. Г., Ванеев Б. Н., Гостищев В. М. Справочник энергетика угольной шахты. Под общей ред. Б. Н. Ванеева. Донецк: «ООО Юго-Восток ЛТД.»; 2001.
10. Lyakhomskiy A., Perfilieva E., Kychkin A., Genrikh N. A software-hardware system of remote monitoring and analysis of the energy data. *Russian Electrical Engineering*. 2015;86(6):314-319.
11. Zhang T., Neil Taylor R., Zheng G., Sun J., Fan Q., Diao Y., Zhou H. Modelling ground movements near a pressurised tunnel heading in drained granular soil. *Computers and Geotechnics*. 2018;104:152-166. DOI: [10.1016/j.compgeo.2018.08.015](https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2018.08.015)
12. Gabov V. V., Zadkov D. A. Energy-saving modular units for selective coal cutting. *Eurasian Mining*, 2016;(1):37-40. DOI: [10.17580/em.2016.01.06](https://doi.org/10.17580/em.2016.01.06)
13. Fashilenko V., Reshetnyak S. Improving the energy performance of industrial enterprises. In: *Miner's week – 2015. Reports of the XXIII international scientific*. 2015. P. 570-573.
14. Dias D., Kastner R. Movements caused by the excavation of tunnels using face pressurized shields - Analysis of monitoring and numerical modeling results. *Engineering Geology*. 2013;152(1):17-25. DOI: [10.1016/j.enggeo.2012.10.002](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.10.002)
15. Lu S. Coal mining industrial robots the institutions of the modeling and simulation. *Advanced Materials Research*. 2012;482-484:1490-1494. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.1490](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.1490)
16. Ръжов П. А. *Математическая статистика в горном деле: Учеб. пособие для вузов по специальности «Маркшейдерское дело»*. М.: Высш. шк.; 1973. 287 с.
17. Мацкевич И. П., Свирид Г. П. *Высшая математика. Теория вероятностей и математическая статистика*. Минск: Высшая школа; 1993.
18. Бегляков В. Ю., Аксенов В. В., Костинцев И. К., Хорешок А. А. Определение сил взаимодействия основных систем геолога с геосредой и между собой. *Горные науки и технологии*. 2017;(4):23-30 2017;(4):23-30. DOI: [10.17073/2500-0632-2017-4-23-28](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2017-4-23-28)

## References

1. Pichuev A. V., Sadridinov A. B. Methods for assessing energy performance of tunneling in urban underground construction. In: Proc. of international scientific and technical conf. "*Improving techniques of construction of mines and structures*." Donetsk, Ukraine. 2012;18:25-27. (In Russ.)
2. Pichuev A. V., Sadridinov A. B. Energy characteristics of selective tunneling machines. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2013;(9):348-350. (In Russ.)
3. Liu X., Zhang Y., Zhang K. Optimization control of energy consumption in tunneling system of earth pressure balance shield tunneling machine. *Engineering Letters*. 2020;28(2):551-558.
4. Liu X., Zhao Z. Coordinated optimization control of shield tunneling machine based on predictive function control. *Engineering Letters*. 2020;28(3):281-287.
5. Liu X., Shao C. Present status and prospect of shield machine automatic control technology. *Jixie Gongcheng Xuebao. Journal of Mechanical Engineering*. 2010;46(20):152-160. DOI: [10.3901/JME.2010.20.152](https://doi.org/10.3901/JME.2010.20.152)
6. Zhang Q., Qu C., Kang Y., Huang G., Cai Z., Zhao Y., Zhao H., Su P. Identification and optimization of energy consumption by shield tunnel machines using a combined mechanical and regression analysis *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2012;28(1):350-354. DOI: [10.1016/j.tust.2011.12.003](https://doi.org/10.1016/j.tust.2011.12.003)
7. Yang X., Gong G.-F., Yang H.-Y., Jia L.-H., Ying Q.-W. A cutterhead energy-saving technique for shield tunneling machines based on load characteristic prediction. *Journal of Zhejiang University: Science A*. 2015;16(5):418-426. DOI: [10.1631/jzus.A1400323](https://doi.org/10.1631/jzus.A1400323)
8. Lyakhomskiy A., Perfilieva E., Petrochenkov A., Bochkarev S. Conceptual design and engineering strategies to increase energy efficiency at enterprises research, technologies and personnel. In: *Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovation 2015 4th)*. 2015. P. 44-47.
9. Dzyuban V. S., Shirin I. G., Vaneev B. N., Gostishchev V. M. Coal Mine Power Engineer Handbook. Ed. B. N. Vaneev Donetsk: Yugo-Vostok LTD Publ.; 2001. (In Russ.)
10. Lyakhomskiy A., Perfilieva E., Kychkin A., Genrikh N. A software-hardware system of remote monitoring and analysis of the energy data. *Russian Electrical Engineering*. 2015;86(6):314-319.
11. Zhang T., Neil Taylor R., Zheng G., Sun J., Fan Q., Diao Y., Zhou H. Modelling ground movements near a pressurised tunnel heading in drained granular soil. *Computers and Geotechnics*. 2018;104:152-166. DOI: [10.1016/j.compgeo.2018.08.015](https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2018.08.015)
12. Gabov V. V., Zadkov D. A. Energy-saving modular units for selective coal cutting. *Eurasian Mining*, 2016;(1):37-40. DOI: [10.17580/em.2016.01.06](https://doi.org/10.17580/em.2016.01.06)



13. Fashilenko V., Reshetnyak S. Improving the energy performance of industrial enterprises. In: *Miner's week – 2015. Reports of the XXIII international scientific.* 2015. P. 570-573.
14. Dias D., Kastner R. Movements caused by the excavation of tunnels using face pressurized shields - Analysis of monitoring and numerical modeling results. *Engineering Geology.* 2013;152(1):17-25. DOI: [10.1016/j.enggeo.2012.10.002](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.10.002)
15. Lu S. Coal mining industrial robots the institutions of the modeling and simulation. *Advanced Materials Research.* 2012;482-484:1490-1494. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.1490](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.1490)
16. Ryzhov P. A. *Mathematical statistics in mining:* Manual for graduate students with specialization in Mine Surveying. Moscow: Vysshaya Shkola Publ.; 1973. 287 p. (In Russ.)
17. Matskevich I. P., Svirid G. P. Higher mathematics. Probability theory and mathematical statistics. Minsk: Vysshaya Shkola Publ.; 1993. (In Russ.)
18. Beglyakov V. Y., Aksenov V. V., Kostinets I. K., Khoreshok A. A. Determining the forces of geokhod main systems interaction with geoenvironment and each other. 2017;(4):23-30 2017;(4):23-30. DOI: [10.17073/2500-0632-2017-4-23-28](https://doi.org/10.17073/2500-0632-2017-4-23-28) (In Russ.)