

ISSN 2500-0632 (ON-LINE)



MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY

TOM 5, №2
2020

(RUSSIA)

GORNYE NAUKI I TEKHNOLOGII
ГОРНЫЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

MISIS



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



CONTENTS

ORIGINAL PAPERS

ROCK CHARACTERISTICS. GEOTECHNIC SURVEY AND GEOPHYSICS

- Oil and Gas Potential of Superimposed Depressions in Azerbaijan.....** 72
A. A. Feizullaev, S. S. Kocharli, S. V. Abbasova

PROCESS SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

- About the necessity for changing the methodical approach to the calculation of methane release rate in high-performance working faces of Kuzbass.....** 82
A. A. Ordin, A. M. Timoshenko, D. V. Botvenko

BENEFICIATION. PROCESSING OF NATURAL AND TECHNOGENIC MINERALS

- Assessment of gravity dressability of gold ore – GRG test.....** 92
B. N. Surimbayev, E. S. Kanaly, L. S. Bolotova, S. T. Shalgymbayev

EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES

- Development of environment-friendly and resource-saving methods of underground ore mining in disturbed rock masses.....** 104
V. I. Lyashenko, O. E. Khomenko, V. I. Golik

- Marketable product quality management in conditions of coal mining at a deposit of complicated structure.....** 119
V. A. Azev, D. V. Popov

- Issues of improving control and increasing efficiency of production blocks at an ISL uranium mine.....** 131
D. R. Podrezov

MINE SURVEYING

- Tracking changes in mining object topology on rectangular and hexagonal grids.....** 154
S. O. Kramarov, O. Yu. Mityasova

MINING PROJECT IMPLEMENTATION EXPERIENCE

- Effective international approaches to subsoil public administration.....** 163
R. N. Baimishev



СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМ

- Наложенные прогибы Азербайджана в связи с их нефтегазоносностью.....** 72
Фейзуллаев А. А., Кочарли Ш. С., Аббасова С. В.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- О необходимости изменения методического подхода к расчету дебита метана в высокопроизводительных очистных забоях Кузбасса.....** 82
Ордин А. А., Тимошенко А. М., Ботвенко Д. В.

ОБОГАЩЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

- Оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды – GRG.....** 92
Сурымбаев Б. Н., Каналы Е. С., Болотова Л. С., Шалгымбаев С. Т.

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энтеронарушенных массивах.....** 104
Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Голик В. И.

- Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного место-рождения.....** 119
Азев В. А., Попов Д. В.

- Задачи совершенствования управления и повышения эффективности функционирования технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана.....** 131
Подрезов Д. Р.

МАРКШЕЙДЕРИЯ

- Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках.....** 154
Крамаров С. О., Митясова О. Ю.

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ

- Эффективные международные подходы в государственном управлении недрами.....** 163
Баймишев Р. Н.

ORIGINAL PAPERS / ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-72-81

Oil and Gas Potential of Superimposed Depressions in Azerbaijan**A. A. Feizullaev, S. S. Kocharli, S. V. Abbasova**Institute of Geology and Geophysics of National Academy of Sciences of Azerbaijan,
Baku, Republic of Azerbaijan

Abstract: The Republic of Azerbaijan has significant potential in the oil and gas industry, which is the basic for the country economy. Prospects for the development of oil and gas production technologies are largely determined by the effectiveness of geological and geophysical surveys and exploratory drilling. The features of the geology and oil and gas potential of the Azerbaijanian continental depression zones are considered for determining the targets for further exploration for hydrocarbons (HC). The analysis of such studies shows that the Srednekurinskaya depression (the Azerbaijani part) and the Guba-Divichinsky depression are superimposed with the corresponding features of the conditions for the formation and survival of hydrocarbon accumulations. Low oil and gas potential of the Miocene-anthropogenic strata of the discussed superimposed depressions is substantiated: this is due to low hydrocarbon potential of the rocks (especially the Lower Pliocene ones), as well as low temperatures insufficient for the conversion of organic matter to hydrocarbons. It is proposed to use poorly tectonized Jurassic and Cretaceous sediments, especially those overlaid by oil and gas generating Paleogene-Miocene strata (commercial accumulations of Muradkhanli type) as the HC exploration prospects.

Keywords: tectonics, superimposed depression, Meso-Cenozoic strata, unconformities, oil and gas potential, Azerbaijan, nondepositional hiatus, basin modeling, hydrocarbons.

For citation: Feizullaev A. A., Kocharli S. S., Abbasova S. V. Oil and Gas Potential of Superimposed Depressions in Azerbaijan. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):72-81. (In Russ.) DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-72-81.

Наложённые прогибы Азербайджана в связи с их нефтегазоносностью**Фейзуллаев А. А., Кочарли Ш. С., Аббасова С. В.**Институт геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана,
г. Баку, Республика Азербайджан

Аннотация: Республика Азербайджан обладает значительным потенциалом нефтегазовой отрасли экономики, которая является базовой для страны. Перспективы развития технологий добычи нефти и газа в значительной мере определяются эффективностью геолого-геофизических исследований и поисково-разведочного бурения рассматриваются особенности геологического строения и нефтегазоносности депрессионных зон суши Азербайджана с целью определения направления дальнейших поисков углеводородов (УВ). Проведенный анализ таких исследований показывает, что Среднекуринская впадина (азербайджанская часть) и Губа-Дивичинский прогиб имеют наложенный характер с соответствующими особенностями условий формирования и сохранения углеводородных скоплений. Обосновываются низкие перспективы нефтегазоносности миоцен-антропогенного комплекса отложений указанных наложенных прогибов, в связи с невысоким углеводородным потенциалом пород (особенно нижнеплиоценовых), а также низкими температурами, недостаточными для преобразования органического вещества в УВ. В качестве поисковых объектов предложено использовать слабо дислоцированные юрские и меловые отложения, особенно перекрытые нефтегазогенерирующими палеоген-миоценовыми комплексами (промышленные скопления типа Мурадханлы).

Ключевые слова: тектоника, наложенный прогиб, мезо-кайнозойские отложения, несогласия, нефтегазоносность, Азербайджан, перерыв в осадконакоплении, бассейновое моделирование, углеводороды.

Для цитирования: Фейзуллаев А. А., Кочарли Ш. С., Аббасова С. В. Наложённые прогибы Азербайджана в связи с их нефтегазоносностью. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):72-81. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-72-81.



Introduction

The problems of assessing oil and gas potential depending on the nature of inheritance or superimposition of depressions are poorly studied, although there are some publications relative to this matter by the way [2, 3, 5, 10].

In this regard, notice that most of the oil and gas bearing depressions or oil and gas regions of Azerbaijan, such as the South Caspian basin, Apsheron region, southeastern Gobustan, Nizhnekurinsky and Yevlakh-Agjabedinsky depressions (up to Upper Miocene) are characterized by predominant inheritance of depression and sedimentation for the whole alpine orogenesis period.

In these depressions, which were founded at least from the beginning of Jurassic period (the supposed surface of the crystalline basement), the thickness of the Meso-Cenozoic sediments is 10–25 km or more, and they are characterized mainly by the conformity of the structural plans of the composing sediments.

Meanwhile, in the territory of Azerbaijan, there are several oil and gas regions with clear imposition of structural plans.

It is necessary to make a reservation that the concept of "superimposed depressions" is used here in two meanings: stratigraphic and structural. The term "superimposition of folded zones of oil and gas regions" (which in fact has genetic nature similar to the depressions) is relatively rarer used.

In this paper, we consider two oil and gas regions: Kurinsky basin and Caspian-Guba region, although, according to many researchers, there are much more such depressions in Azerbaijan (this will be discussed later).

In this study, the features of geology and oil and gas potential of the Azerbaijanian continental depression zones are considered for assessing the prospects of discovering new commercially productive hydrocarbons.

Research Findings.

Superimposed depressions of the Kurinsky Basin

In the modern sense, the Kurinsky basin, as a large structural element separating the meganticlinories of the Greater Caucasus and Caucasus Minor, was formed in the post-Upper Miocene time. This was first indicated by V.E. Hain and A.N. Shardanov [9] as early as 1952. Later geological and geophysical studies [2, 5, 11] established that in the Mesozoic time (Jurassic-Cretaceous), the territory of the Kurinsky basin (the Azerbaijani part) was actually represented by the following independent structural units: Nizhnekurinsky (NKD) and Yevlakh-Agjabedinsky depressions, the Kura and Gabyrry interfluve (the southwestern side of Iorsky depression), Ajinoursky depression, and Mugan-Saatly-Geokchay-Mingechaursky uplift zone separating the depression areas (Fig. 1).

Paleotectonic restructuring, sometimes called inversion, began at the Upper Cretaceous – Paleogene boundary and ended in the Late Miocene, as mentioned above (Fig. 2).

Along with some common features, each of these tectonic zones has its own specifics of development and structure.

Among these depressions, only Yevlakh-Agjabedinsky depression has full independence (closeness) in the Azerbaijan territory, while Nizhnekurinsky depression is the southwestern gulf of the South Caspian Basin (SCB), and the Kura-Gabyrry interfluve is the southwestern side of the Iorsky depression.

The nature of these depressions within the present-day Kurinsky Basin was largely controlled by the nature of the Mugan-Saatly-Geokchay-Mingechaursky zone of uplifts, which in many respects coincides with the well-known Talysh-Vandamsky gravitational maximum.

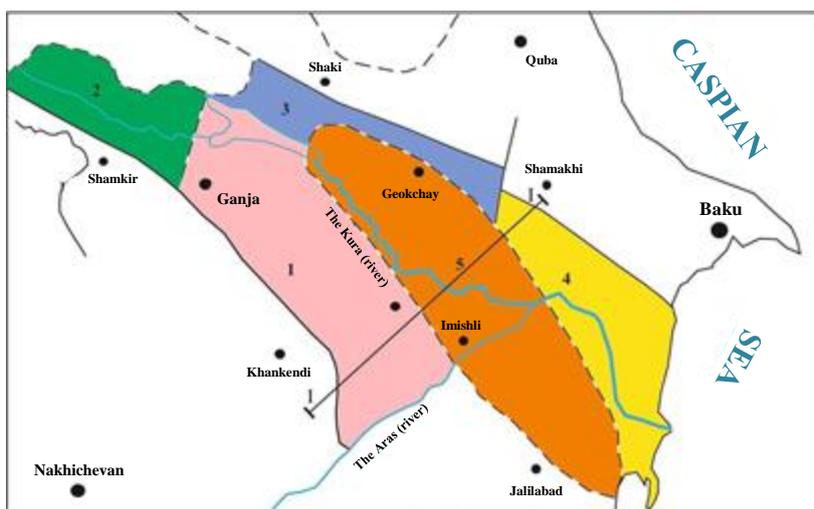


Fig. 1. Kurinsky basin. Mesozoic tectonic structure:

depressions: 1 – Yevlakh-Agjabedinsky; 2 – interfluvial of the Kura and Gabyrri; 3 – Ajinoursky; 4 – Nizhnekurinsky; uplift zone: 5 – Talysh-Saatly-Mingechaurskaya; I-I – geological profile crossing the Kurinskaya depression (see Fig. 3)

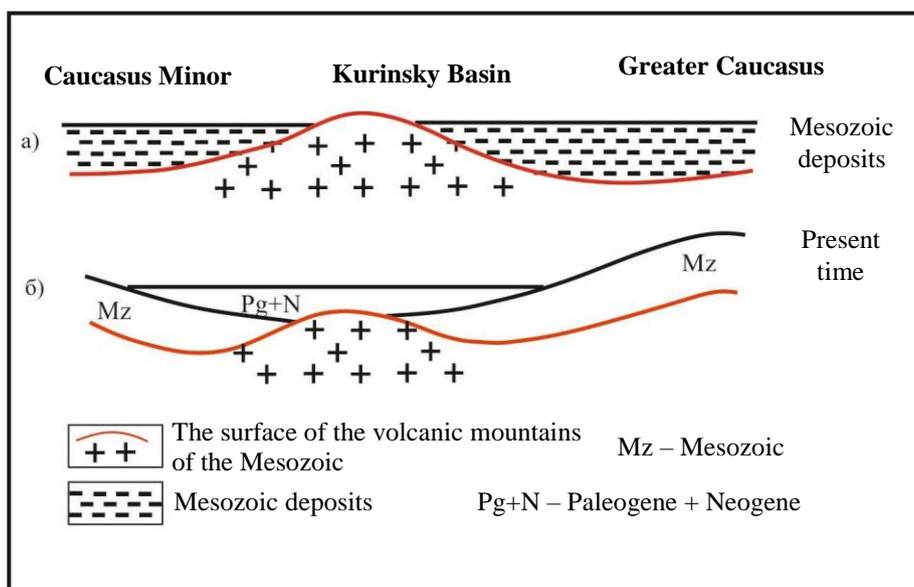


Fig. 2. Location of Caucasus Mountains:
a – in the Mesozoic; b – at the present time

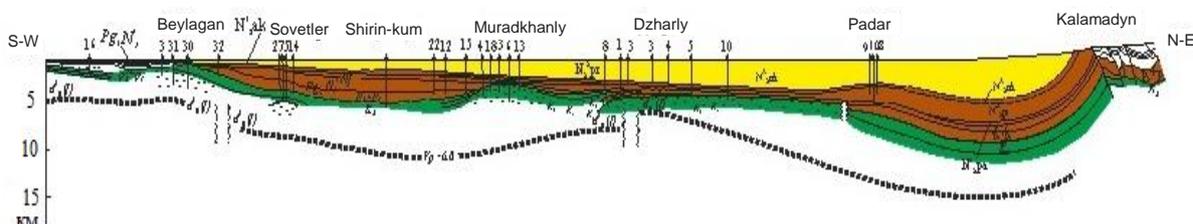


Fig. 3. Geological profile crossing the Kurinsky basin from southwest to northeast



The mentioned zone of uplifts, which apparently existed from Paleozoic time, underwent intensive erosion since the end of Upper Cretaceous up to the beginning of Upper Miocene, and sedimentation was completely absent here. The Nizhnekurinsky depression during this period developed together with the South Caspian Basin, having the inherited character of the Mesozoic-Cenozoic structural plans with the accumulation of molasses of great thickness (more than 15 km).

Since Upper Miocene, the whole territory of the central part of the Kurinsky Basin has undergone intense subsidence and sedimentation, and superimposed Srednekurinsky depression (SKD) has formed here, covering the Miocene-Pliocene-Anthropogenic sediments of about 5 km thick (Fig. 3).

Consequently, superimposition in the Kurinsky Depression took place only in its Srednekurinsky part, whereas the Nizhnekurinsky depression (NKD) has inherited downwarping nature.

The Adjinoursky region, especially its Alazan-Agrichay zone, is also considered by a number of researchers as a superimposed depression. If that's the case, then the whole Adjinoursky region should be classified as superimposed depression.

In a significant part of the SCD territory, the post-Upper Miocene sediments are almost not affected by folding, with the exception of the Chatma-Geokchay anticlinorium zone, partly the side part of the Yevlakh-Agjabedinsky depression, and the Adjinoursky region. In the NKD, as in the SCB, these formations have been intensively folded.

The question is: what is the nature of the oil and gas content of the Miocene-Pliocene-Quaternary sediments in the superimposed depressions of the Kurinsky Basin?

As is known, in the central part of SKD in the superimposed complex of the Upper Miocene-Pliocene-Quaternary sediments, steadily demonstrating near-horizontal occurrence, no signs of

oil and gas content were observed. Commercial oil and gas potential or hydrocarbon manifestations have been identified in the underlying sediments of Upper Cretaceous-Paleogene (Muradkhanly, Jafarly, Sovelyar, Zardob fields) and Oligocene-Lower Miocene (Maykop series) (Gazanbulag, Ter-Ter, Naftalan fields).

In the Kura - Gabyrry interfluvium, the presence of hydrocarbon accumulations was also established in the lower structural level – Eocene and the Upper Cretaceous in the Tarsdallar and Gyurzundag areas. In the superimposed Maikop-Upper Miocene-Pliocene complex, effective manifestations of oil and gas have not been established, with the exception of oil seepage in the Upper Miocene sediments in the Chatminsky anticlinorium zone.

In the NKD, which has an inherited origin in the Cenozoic and possibly Mesozoic complexes, oil and gas content was established mainly in the sequence of the Lower Pliocene (productive strata - PS), partially in the Upper Pliocene (Akhchagyl Formation) and Quaternary (Apsheeron Formation) sediments. The underlying sediments (Miocene-Oligocene) have been partially penetrated, and it is too early to talk about their prospects, although the preliminary findings are quite encouraging.

Thus, the superimposed depression in the Upper Miocene-Quaternary complex in SKD has relatively lower oil and gas potential, whereas in the NKD with the inherited nature of the structural plan, the whole mentioned complex has oil and gas content/or potential.

In this regard, oil and gas potential of the lower structural level of the SKD – from Middle Sarmatian to Upper Cretaceous – are of interest.

Three possible models of formation of HC accumulations, characteristic not only of the SKD, but also of other superimposed depressions, are considered. These models are shown in Fig. 4.

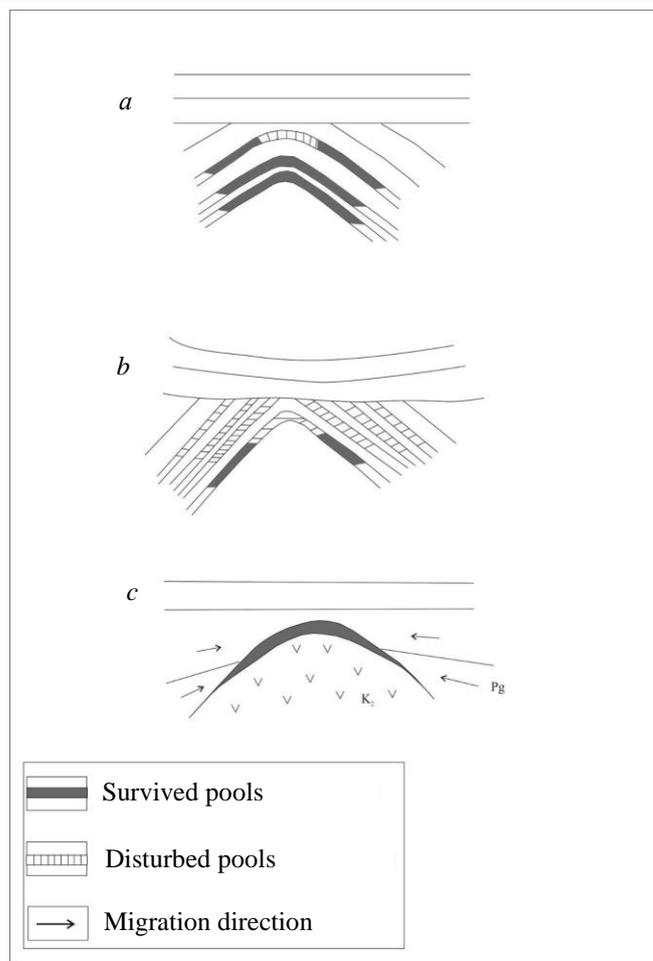


Fig. 4. Variants of oil-gas pool formation in superimposed depressions

Fig. 4, *a* presents the pattern of accumulation formation in underlying complexes, where reservoir beds are almost not affected by erosion and favorable conditions exist for the conservation of hydrocarbon accumulations.

Fig. 4, *b* shows the case of deep erosion degree of reservoir beds with possible disturbance of the accumulations and their preservation as a result of subsequent overlaying the underlying complex by young formations (Dzharly, Sor-Sor, Karadzhally fields, etc).

Finally, Fig. 4, *c* presents the model of Muradkhanly field, where the eroded protrusion of the Upper Cretaceous volcanic rocks is overlain by oil-and-gas-bearing Paleogen-Miocene sediments.

The exploration in the Dzharly-Karadzhally zone, located in the most elevated and highly eroded part of the Kurdamir Bridge,

discovered no commercial accumulations of hydrocarbons. Even assuming oil and gas formation in the Mesozoic, however, long-lasting erosion in the Upper Cretaceous-Upper Miocene did not favor the formation and conservation of hydrocarbon accumulations (the model in Fig. 4, *b*).

The Muradkhanly field is an exception in this case, since here the eroded surface of the Upper Cretaceous is overlain by oil and gas-forming Maykop-Eocene sediments with subsequent migration of hydrocarbons to the head part of the Mesozoic nose. In this regard, one of authors [6] based on paleogeological studies substantiated an exploratory criterion for discovering analogues of the Muradkhanly field – these are the areas of overlaying volcanics by oil and gas-forming Maykop-Eocene sediments.

The Khosrov-Agdash uplift zone and its southwestern plunge, up to Amirirkhsky area, comply with this condition.

Guba-Divichinsky superimposed depression (GDSD)

There are a lot of interesting, sometimes conflicting opinions about the nature of this unique depression, regarding both the history of geological evolution and the modern structure [1, 7, 8, 10]. Not considering the essence of these studies, we should note that this depression is a classic example of superposition of the Quaternary-Paleogene complex of sediments on the

Mesozoic (Jurassic-Cretaceous) formations with a long nondepositional hiatus from Middle-Upper Jurassic to Paleogene-Miocene. There is also an opinion [2] that GDSD in the Mesozoic is not a typical synclinorium, most likely it is an uplift zone with the loss of a number of stratigraphic units of the Jurassic and Cretaceous from the sequence. Indeed, in the Jurassic – Cretaceous, this zone occupied higher hypsometric position than the zones of Tengi-Beshbarmasky anticlinorium and Khyzinsky synclinorium, where relatively complete sequence of these sediments is observed (Fig. 5).

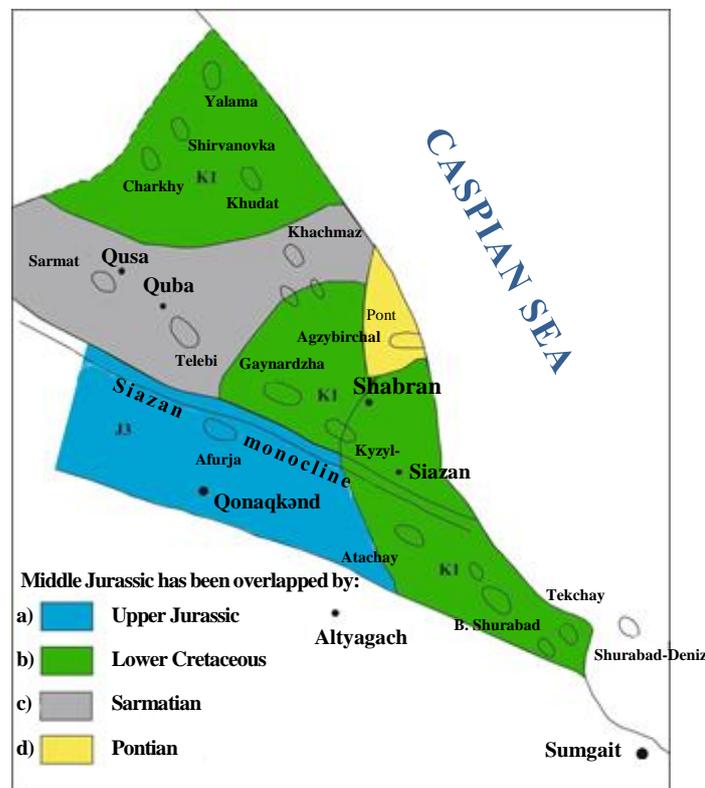


Fig. 5. The Caspian-Gubinsky region. Paleogeological map of Middle Jurassic sediment overlapping

The tectonics of the eroded surface of the Mesozoic sediments in the GDSD are far from calm: here, according to geological, geophysical, and exploratory drilling data, a number of anticlinal zones and separating them synclinal zones are distinguished. In particular, in the north-west of the region, local structures Gusar, Shirvanovka,

Yalama, Yalama Nothern, Khudat, etc. were identified, and in the south-east, local structures Guba, Khachmas, Charkhi, Agzybirchala, etc. were identified. Between these zones, poorly expressed Zeykhur synclinal is located. In the south-west of the region, the Talabi-Gaynardzha-Gyzylbunsky anticlinal zone is linearly extended in par-

allel to the Siazansky monocline, and in the north-eastern plunging part of the monocline, narrow synclinal strip is located.

The extents of erosion and exposure of the surface of the "underlying" (lower), i.e. the Mesozoic complex in the region are quite different. It should be noted that there are no Upper Jurassic formations throughout the region. In some areas, Middle Jurassic sediments through major uncon-

formity are overlain by the Paleogene-Lower Miocene formations, in particular, by the Paleocene in the Khachmaz area, by the Pontian in the Agzyburchala area, and by the Lower Cretaceous in the Yalama area. The maximum extent of the break was observed in Gusar area, where borehole No. 1, at a depth of 2448 m left the Upper Miocene sediments and penetrated the Middle Jurassic interval of 220 m long (Fig. 6).

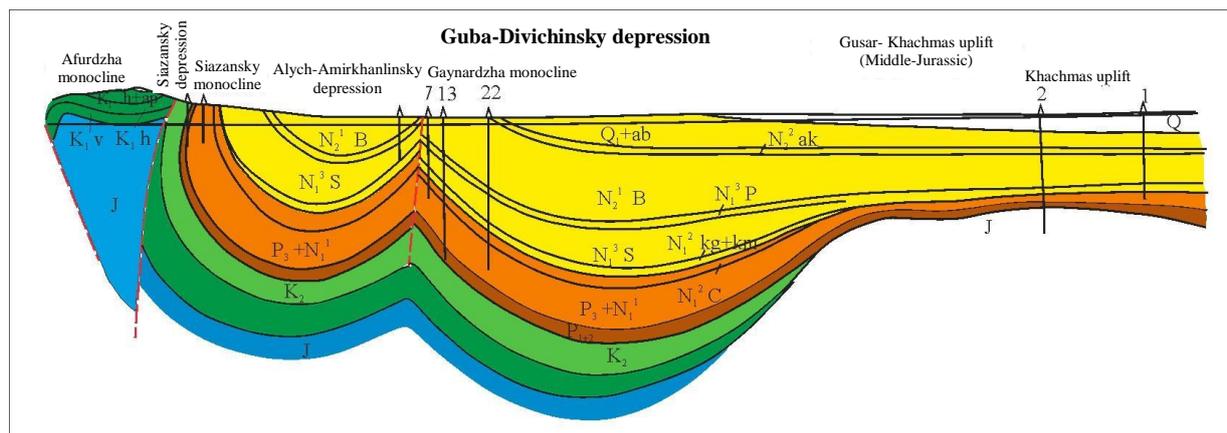


Fig. 6. Geological profile in the direction of Afurdzha-Khachmaz (according to A. A. Suleymanov et al. [8])

In Talabi area, located closer to the center of the Guba-Divichinsky Depression, borehole No. 12 discovered black mudstones of Middle Jurassic, underlying the Sarmatian sediments, proving superimposed nature of this depression as well. About the same sequence was intersected in borehole No. 15 in the same area.

Regarding tectonics of the superimposed Paleogene-Miocene-Pliocene-Quaternary part of the sequence in the region, one can say that according to the latest geological and geophysical data, almost all of them occur near-horizontally without any structural complications, being gently dipping to the northeast, towards the Caspian Sea, and therefore they do not have actual oil and gas prospects.

Regarding the oil and gas potential of the "underlying" complex in the region, it should be noted that in addition to the Siazansky monocline fields, oil and gas occurrences were identified in a number of areas in the region in the sequence of

Jurassic and especially Cretaceous sediments. In particular, oil and gas occurrences were identified in the Yalama area in borehole No. 1 during drilling in the Turonian-Cognac sediments, and in borehole No. 9 (the Barremian), 28–30 m³ of water with oil and gas-condensate were obtained. Oil and gas occurrences were also identified when drilling boreholes in the Khudat and Khachmas areas. Despite these positive facts, no commercial accumulations of oil and gas were identified here.

The reason for this situation, in the opinion of many researchers, lies in the insufficiency of geological and geophysical studies, especially deep drilling. Partially agreeing with this opinion, we note that one of the reasons could also be severe dislocation and greater exposure of the surface of the Jurassic and Cretaceous reservoirs, which contributed to the destruction of previously formed accumulations (the model in Fig. 4, b). Hydrocarbons formed in the lower structural level could be destroyed by the time of formation of

Miocene – Paleogene sediments [13]. In this regard, the observed oil and gas occurrences or hydrocarbon inflows in boreholes may be the surviving remnants of the former accumulations. In any case, only deep drilling exploration for such accumulation may enable estimation of their reserves and assessing profitability of their extraction.

Thus, in the GDSD, same to the SKD, oil and gas potential of the deeply eroded Jurassic-Cretaceous formations is assessed as low.

Conclusion

A comprehensive analysis of the findings of historical geological and geophysical studies, exploration drilling and determination of oil and gas potential of the Azerbaijanian continental depression zones was performed, and the following conclusions were made:

– the Srednekurinsky Depression (the Azerbaijani part) and the Guba-Divichinsky Depression have superimposed nature;

– low oil and gas potential of the Miocene-Quaternary complex of the discussed superimposed depressions has been substantiated: this is due to the low hydrocarbon potential of the rocks (especially the Lower Pliocene ones), as well as low temperatures insufficient for the conversion of organic matter to hydrocarbons. The latter is confirmed by the results of oil and gas generation modeling performed through the examples of the Khachmaz area (Fig. 7) and the Yalama area (Fig. 8);

– it is proposed to consider the poorly tectonized Jurassic and Cretaceous sediments as potential HC exploration targets.

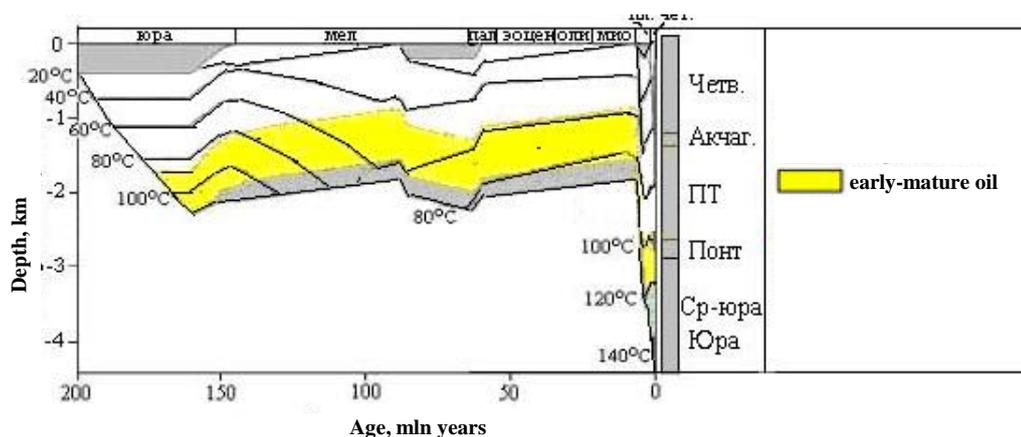


Fig. 7. Oil and gas formation model for Khachmaz area

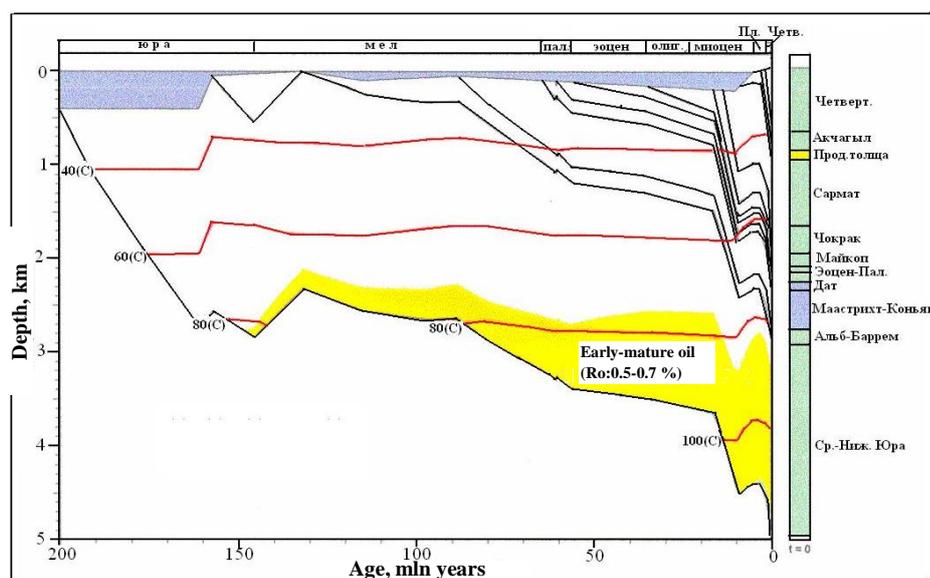


Fig. 8. Oil and gas formation model for the Yalama area

– the eroded volcanic, volcanic-sedimentary rocks of the Mesozoic, overlain by the oil and gas generating Paleogene-Miocene complexes (commercial accumulations of the Muradkhanly type) should also be considered as HC promising targets.

In the light of the research findings, for further exploration in the lower structural level, new, possibly unconventional geological and geophysical approaches and exploration methods should be developed.

References

1. Aliev A. *The internal depressions in Azerbaijan and assessment of their prospects for oil and gas*. Baku: Nafta Press Publ; 2003. 319 p. (In Russ.).
2. Alizade A. A., Akhmedov G. A., Akhmedov A. M., Aliev A. K., Zeynalov M. M. *Geology of oil and gas fields of Azerbaijan*. Moscow: Nedra Publ.; 1966. 392 p. (In Russ.).
3. Akhmedov G. A. *Geology and oil-and-gas potential of Gobustan*. Baku: Aznefteizdat Publ.; 1957. 299 p. (In Russ.).
4. Vassoevich N. B. About large overthrust sheets in the East Transcaucasia. *Zapiski Vserossijskogo mineralogičeskogo obščestva*. 1940;69(2):395-416. (In Russ.).
5. Mamedov A. V. *History of geological development and paleogeography of the Srednekurinsky depression in relation to oil-and-gas*. Baku: Elm Publ.; 1977. 221 p. (In Russ.).
6. Kocharli Sh. S. *Problematic issues of oil and gas geology of Azerbaijan*. Baku: Ganun Publ; 2015. 280 p. (In Russ.).
7. Salaev S. G. *Oligocene-Miocene sediments of the South-East Caucasus and their oil-and-gas potential*. Baku: Azerbaijan Academy of Sciences Publ.; 1961. 253 p. (In Russ.).
8. Suleymanov A. M., Zeynalov R. L., Maharramov B. I. Paleotectonic and paleogeographic reasons of oil-and-gas prospects of Mesozoic sediments of the Caspian-Guba NQR. *Azerbajdžanskoe neftânoe hozâjstvo*. 2010;3:3–8. (In Azerb.).
9. Khain V. E., Shardanov A. N. *Geological history and structure of the Kurinsky basin*. Baku: Azerbaijan Academy of Sciences Publ.; 1952. 348 p. (In Russ.).
10. Shardanov A. N. About the phenomena of overthrust sheet formation in the South-East Caucasus. In: *Proceedings of Azerbaijan Academy of Sciences*. 1953;9(8):439–444 (In Russ.).
11. Shikhalibeyli E. Sh. *Geological structure and history of tectonic development of the eastern Caucasus Minor*. Baku: Azerbaijan Academy of Sciences Publ.; 1966. 110 p. (In Russ.).
12. Shurygin A. M. *Conditions for the formation of structures in the South-East Caucasus*. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ.; 1962. 139 p. (In Russ.).
13. Feizullaev A., Ibragimov B., Godzhaev A., Dzhabbarova N. Modeling of oil and gas formation in sedimentary strata of the Caspian-Gubinsky region. *Izvestiya NAN Azerbajdžana. Nauki*. 2005;(1):16–20 (In Russ.).

Библиографический список

1. Алиев А. *Внутренние впадины Азербайджана и оценка их перспектив нефтегазоносности*. Баку: Нафта пресс; 2003. 319 с.
2. Ализаде А. А., Ахмедов Г. А., Ахмедов А. М., Алиев А. К., Зейналов М. М. *Геология нефтяных и газовых месторождений Азербайджана*. М.: Недра; 1966. 392 с.
3. Ахмедов Г. А. *Геология и нефтегазоносность Гобустана*. Баку: Азнефтеиздат; 1957. 299 с.
4. Вассоевич Н. Б. О крупных тектонических покровах в Восточном Закавказье. *Записки Всероссийского минералогического общества*. 1940;69(2):395-416.
5. Мамедов А. В. *История геологического развития и палеогеография Среднекуринской впадины в связи с нефтегазоносностью*. Баку: ЭЛМ; 1977. 212 с.
6. Кочарли Ш. С. *Проблемные вопросы нефтегазовой геологии Азербайджана*. Баку: Ганун; 2015. 280 с.
7. Салаев С. Г. *Олигоцен-миоценовые отложения Юго-Восточного Кавказа и их нефтегазоносность*. Баку: Изд. АН Азерб. ССР, 1961. 253 с.
8. Süleymanov Ə. M., Zeynalov R. L., Məhərrəmov B. İ. Xəzəryanı-Quba NQR-in mezozoy çöküntülərinin neft-qazlılıq perspektivliyinin paleotektonik və paleocoğrafi əsasları. *Azerb. Neft. hozajstvo*. 2010;(3):3–8.
9. Хаин В. Е., Шарданов А. Н. *Геологическая история и строение Куринской впадины*. Баку: Изд. АН Азерб. ССР; 1952. 348 с.



10. Шарданов А. Н. К вопросу о явлениях покровной тектоники на Юго-Восточном Кавказе. *Докл. АН Азерб. ССР*. 1953;9(8):439–444.
11. Шихалибейли Э. Ш. *Геологическое строение и история тектонического развития восточной части Малого Кавказа*. Баку: Изд. АН Азерб. ССР; 1966. 110 с.
12. Шурыгин А. М. *Условия формирования структур Юго-Восточного Кавказа*. М.: Изд. АН СССР; 1962. 139 с.
13. Фейзуллаев А., Ибрагимов Б., Годжаев А., Джаббарова Н. Моделирование генерации нефти и газа в осадочной толще Прикаспийско-Губинского района. *Известия НАН Азерб. Науки о Земле*. 2005;(1):16–20.

ORIGINAL PAPERS / ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-82-91

**About the Necessity for Changing the Methodical Approach
to the Calculation of Methane Release Rate in High-Performance
Working Faces of Kuzbass****A. A. Ordin¹⁻³, A. M. Timoshenko⁴, D. V. Botvenko⁴**

¹Mining Institute named after N. A. Chinakala, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, ✉ordin@misd.ru;

²Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia;

³Scientific&Design Center of VostNII LLC, Kemerovo, Russia;

⁴Joint Stock Company "Scientific Center of VostNII for Industrial and Environmental Safety in Mining Industry", Kemerovo, Russia

Abstract: It is traditionally believed that the use of high-performance mining equipment in collieries leads not only to increasing productivity of the enterprise, but also to significant increasing release of methane into the mine air. Based on this, the existing regulatory and methodological support for calculations allowed predicting the rate of methane release into the mine air and determining the required operating modes of the ventilation system to ensure mining safety. The task of this study is to investigate in practice the laws of methane release as a function of the productivity of mining equipment and to identify phenomena that affect the nature of these laws. Based on the data of air gas monitoring, the results of statistical study of methane release in 101 working faces of 33 collieries of Kuzbass are presented. In 76 working faces, parabolic law of the dependence of the methane release on the productivity of mining equipment, having peak points in relation to the rate of advance and productivity of the shearer were established with high confidence. Using the law of A. Darcy and the equation of sorption of I. Langmuir, it has been theoretically established that methane release from loose coal is a function inversely proportional to the linear hyperbolic dependence, and also has a peak point in relation to the rate of advance and productivity of the shearer. Analysis of the established dependence of the rate of methane release from the loose coal shows that the methane release significantly (quadratically) decreases with decreasing the rotational speed of the cutting auger and the number of cutters in the cutting line or the number of blades on the drum. Methane release also quadratically increases with increasing formation thickness and the shearer cutting width. The extreme dependence of the rate of methane release from loose coal forms two areas of allowable rate of advance and productivity of the shearer by gas factor.

Keywords: mine, coal seam, methane release, methane concentration, statistical analysis, permissible performance of working face, gas content, shearer rate of advance, fractional yield.

For citation: Ordin A. A., Timoshenko A. M., Botvenko D. V. About the necessity for changing the methodical approach to the calculation of methane release rate in high-performance working faces of Kuzbass. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):82-91. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-82-91.



О необходимости изменения методического подхода к расчету дебита метана в высокопроизводительных очистных забоях Кузбасса

Ордин А. А.¹⁻³, Тимошенко А. М.⁴, Ботвенко Д. В.⁴

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала, Сибирское отделение Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия, ✉ordin@misd.ru;

²Институт вычислительных технологий, Сибирское отделение Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия;

³ООО «Научно - проектный центр ВостНИИ», г. Кемерово, Россия;

⁴Акционерное общество «Научный центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли», г. Кемерово, Россия

Аннотация: Традиционно считается, что использование высокопроизводительного добычного оборудования на угольных шахтах приводит не только к увеличению производительности предприятия, но и к значительному повышению выделения метана в рудничную атмосферу. Исходя из этого существующее нормативно-методическое обеспечение для расчета позволяло прогнозировать дебит метана в рудничную атмосферу и определять необходимые режимы работы системы проветривания для обеспечения безопасности горных работ. В работе поставлена задача исследовать на практике закономерности метановыделения от производительности добычной техники и выявить явления, влияющие на характер этих закономерностей. На основании данных средств аэрогазового контроля приведены результаты статистического исследования метановыделения в 101 очистном забое 33 шахт Кузбасса. С высокой степенью достоверности в 76 очистных забоях установлены параболические зависимости метановыделения от производительности добычной техники, имеющие точки максимума относительно скорости подачи и производительности очистного комбайна. С использованием закона А. Дарси и уравнения сорбции И. Ленгмюра теоретически установлено, что метановыделение из отбитого угля является функцией, обратно пропорциональной линейно-гиперболической зависимости, а также имеет точку максимума относительно скорости подачи и производительности очистного комбайна. Анализ установленной зависимости дебита метана из отбитого угля показывает, что метановыделение значительно, в квадратической зависимости, снижается при уменьшении частоты вращения шнека и количества резцов в линии резания или количества лопастей на шнеке. Метановыделение также в квадратической зависимости растет с увеличением мощности пласта и ширины захвата комбайна. Экстремальная зависимость дебита метана из отбитого угля формирует две области допускаемых значений скорости подачи и производительности очистного комбайна по газовому фактору.

Ключевые слова: шахта, угольный пласт, метановыделение, концентрация метана, статистический анализ, допускаемая производительность очистного забоя, газовый фактор, скорость подачи комбайна, выход фракций.

Для цитирования: Ордин А. А., Тимошенко А. М., Ботвенко Д. В. О необходимости изменения методического подхода к расчету дебита метана в высокопроизводительных очистных забоях Кузбасса. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):82-91. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-82-91.

Introduction.

Modern imported shearers used in Kuzbass collieries are equipped with high-power electric drives and have significant productivity and feed speed. For example, Eickhoff SL-900 shearer weighing 90 tons, used at Named after V.D. Yalevsky colliery, has total power of cutting and feed drives electric motors of 2104 kW. The shearer feed speed reaches 48 m/min, and the

productivity exceeds 50 kt of coal per day. In August 2018, at the Named after V.D. Yalevsky colliery, in longwall 5004 400 m long while extracting a seam 3.8 m long, world record in coal production was achieved, 1627 kt.

However, at the same time, the operation of modern auger shearers, scraper conveyors, and crushers in the production faces leads to overgrinding of coal. Under the conditions of



Kostromovskaya colliery, 69.1 % of coal is produced in grain sizes "culm" (0–6 mm) and "flax-seed coal" (6–13 mm). The similar picture of prevailing fine coal fractions yield is present at many other mines. This leads to a number of negative consequences: decreasing rank and, correspondingly, wholesale price of coal, as well as increasing yield of dust fractions and methane release from the loose coal in production faces.

Patterns of the methane release intensity depending on productivity of mining equipment at coal mines.

One of effective ways for reducing methane release in production faces is increasing productivity of auger shearers. Decreasing methane release from loose coal at high performance of a shearer was first recorded by specialists of Scientific Center "VostNII" in 2010 using air and gas monitoring devices at "Tagaryshskaya", "Kotinskaya", "Taldinskaya-Zapadnaya-1" collieries [1]. The essence of this phenomenon is that, with increasing the shearer feed speed and productivity, in the initial period methane release from the loose coal increases, almost in accordance with the estimates based on the approved instructions and methods [2–4], and then, after

reaching a certain maximum rate of methane release, at further increasing the shearer productivity, methane release decreases. Given high productivity of a shearer (20–30 ktpd or more), there is a significant discrepancy between the actual release of methane in the production faces and the estimated release [1]. For example, at Kotinskaya colliery, the discrepancy between the estimated and actual (obtained by means of air-gas monitoring) methane release data at the production face is more than 5 times at coal productivity of 30 ktpd, whereas at the productivity of 37 ktpd the estimated methane release exceeds the actual one by more than 15 times (Fig. 1)!

This phenomenon contradicts the approved instructions [2–4] and requires more complete theoretical and statistical investigation.

Based on the information obtained by devices of air-gas monitoring, the authors conducted a statistical analysis of the actual methane release in 101 production faces of 33 Kuzbass collieries. The analysis allowed determining, with high confidence, based on 76 production faces data, parabolic dependencies of methane release rate on the shearer productivity, demonstrating peak points (Table 1, Fig. 2).

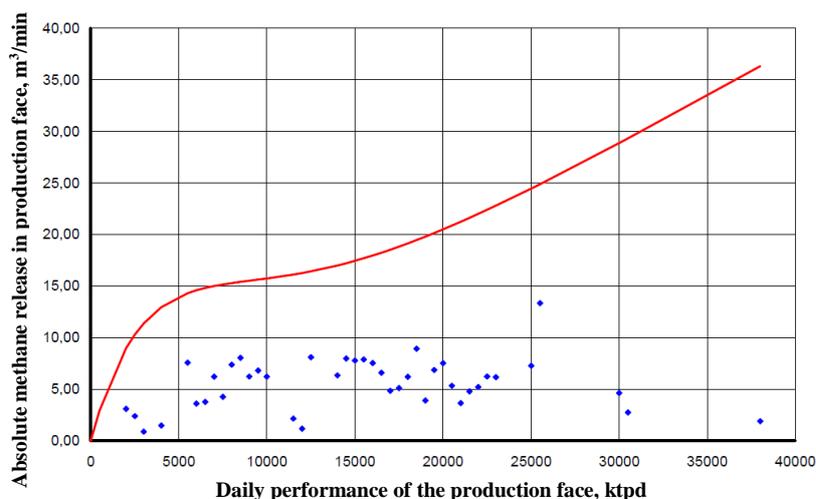


Fig. 1. Theoretical methane release curve in accordance with applicable instructions and the factual methane release rate in production face 5203 of the Kotinskaya colliery

The tendency to decreasing methane release from loose coal is individual for each seam and production face. For example, for the S. M. Kirov colliery, when extracting the Boldyrevsky seam, the decrease in methane release starts at the productivity of 6 ktpd for production face No. 24–40, 10 ktpd for production face No. 24–45, and 11 ktpd for production face No. 24–57.

Thus, the statistical analysis conducted for 76 production faces confirms with high confidence the trend of decreasing absolute methane release from loose coal at high productivity of a face.

Substantiation of methane release intensity models for collieries. Experimental findings and their discussion.

$$Q(v) = \frac{180vmrk_1(P - P_a)}{\mu} \sum_{i=1}^k \frac{\beta_i(v)}{R_i^2} = \frac{180vmrk_1(P - P_a)}{\mu} \sum_{i=1}^k \frac{\pm a_i v + b_i}{R_i^2} = 180mrk_1\mu^{-1}(P - P_a)(-cv^2 + d), \quad (1)$$

where k is the number of loose coal fractions; v is the shearer feed speed, m/min; m is the seam thickness, m; r is the shearer cut (web) width, m; k_l is the coal permeability coefficient; P , P_a are the pore pressure of the gas inside the coal particle and atmospheric pressure in the face, P_a , respectively; μ is absolute viscosity of the medium along the methane filtration path, $P_a \cdot s$; $\beta_i(v)$ is the dependence of the i -th fraction yield on the shearer speed, %; R_i is the average particle radius of the i -th loose coal fraction, m; a_i , b_i are the coefficients of the linear dependences of the yield of fractions on the shearer feed speed; c , d are the coefficients of the parabolic dependence of the total methane release rate on all the coal fractions yield.

Thus, based on the statistical analysis of air-gas monitoring data for 76 Kuzbass production faces and taking into account the statistical data on the yield of different coal size fractions, the parabolic dependence of methane release from the loose coal on the shearer feed speed and productivity, with a peak value, was established.

A theoretical explanation of the decrease in methane release from loose coal at high shearer productivity was given by the authors in [6, 7]. The essence of this phenomenon is that increasing the shearer feed speed and productivity results in changing the loose coal fractional composition. Namely, the yield of fine fractions decreases, whereas the yield of coarse fractions increases. The dependences of the yield of size fractions on the feed speed on the basis of the statistical data [5] are linear, and the total methane release rate from all fractions of the loose coal in accordance with Darcy's law is determined in this case by parabolic dependence on the shearer feed speed:

Similar parabolic dependences were obtained in [8] on the basis of the statistical analysis of operation of production faces at the Mine named after A.F. Zasyadko in Donbass.

It should be noted that all the parabolic dependences of the methane release on the shearer productivity were obtained using statistical methods and, despite the rather high regression confidence, still do not reveal the physics of this phenomenon.

The statistics do not explain the physical process of reducing methane release at high shearer feed speed and productivity.

A theoretical explanation of this effect was given by the authors in [7], in which, based on Darcy law and Langmuir sorption equation, as well as on the relationship between the feed speed and the chip thickness and the auger (cutting drum) rotation speed, extremum (having peak points) dependences of the methane release on the shearer feed speed (v) and productivity (A) were derived:



$$Q(v) = \frac{720mrk_1(0.9X(1+bP_a) - abP_a)}{\mu b(a - 0.9X) \left(\frac{v}{(\pi n n_1)^2} + \frac{h_p}{\pi n n_1} + \frac{0.25h_p^2}{v} \right)}, \text{ m}^3/\text{min},$$

$$Q(A) = mLq + \frac{720k_1(0.9X(1+bP_a) - abP_a)}{\mu b(a - 0.9X) \left(\frac{A}{\gamma(mr\pi n n_1)^2} + \frac{h_p}{mr\pi n n_1} + \frac{0.25\gamma h_p^2}{A} \right)}, \text{ m}^3/\text{min},$$
(2)

where a , b are Langmuir isotherm constants, determined for coal based on [10]: $a = 49.3 \text{ m}^3/\text{t}$, $b = 0.207 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Pa}$; n is auger rotation frequency, min^{-1} ; n_1 is the number of cutters on the auger

blades in one cutting line; h_p is the distance between the cutters on the auger blades; X is the coal natural methane content, m^3/t ; L is the face length, m ; q – methane release rate from coal seam, m^3/min ; γ – coal mass density, t/m^3 .

Table 1

Regression dependences of methane release (Q , m^3/min) from the loose coal on the productivity (A , t/day) of a shearer

No.	Production face	Regression dependence	Approximation coefficient, R^2	Regression coefficient, R	Population size	Standard deviation, σ	Coefficient of relationship reliability, $k = R/\sigma > 3$
S.M. Kirov Colliery							
Boldyrevsky seam							
1	24-40	$Q = -1 \cdot 10^{-7} A^2 + 0.0012A + 0.443$	0.94	0.97	13	0.017	58.26
2	24-45	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.0006A + 0.855$	0.84	0.92	20	0.036	5.62
3	24-57	$Q = -5 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.0011A + 1.02$	0.82	0.91	14	0.048	18.82
4	24-59	$Q = -1 \cdot 10^{-7} A^2 + 0.0019A + 2.42$	0.69	0.83	25	0.062	13.40
Polenovskiy seam							
5	25-85	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.0008A + 1.225$	0.89	0.94	20	0.025	38.35
6	25-86	$Q = -7 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.001A + 0.654$	0.9	0.95	18	0.024	40.25
Zarechnaya Colliery, Polysaevskiy-1 seam							
7	904	$Q = -2 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.0005A + 0.632$	0.74	0.86	16	0.068	13.23
Yesaulskaya Colliery, seam 26a							
8	26-30	$Q = -1.5 \cdot 10^{-7} A^2 + 0.0015A + 0.64$	0.8	0.89	11	0.06	14.83
9	26-18	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.001A + 1.341$	0.8	0.89	10	0.063	14.14
Abashevskaya Colliery, seam 64							
10	64-204	$Q = -1.56 \cdot 10^{-7} A^2 + 0.0012A + 0.61$	0.74	0.86	13	0.072	11.93
Taldinskaya-Zapadnaya Colliery, seam 67							
11	67-04	$Q = -1 \cdot 10^{-7} A^2 + 0.0017A + 0.45$	0.85	0.92	15	0.039	23.8
Kotinskaya Colliery, seam 52							
12	5203	$Q = -7 \cdot 10^{-9} A^2 + 0.0003A + 3.02$	0.17	0.41	52	0.115	3.6
13	5209	$Q = -1 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.0008A + 6.02$	0.59	0.77	49	0.059	13.1
Named after V.D. Yalevskiy colliery, seam 52							
14	5210	$Q = -7 \cdot 10^{-9} A^2 + 0.0005A + 1.64$	0.63	0.79	41	0.058	13.74
Named after 7 November Colliery, Baikaimskiy seam							
15	1380	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.0007A + 0.97$	0.54	0.73	26	0.09	8.15
Taldinskaya-Zapadnaya Colliery, seam 70							
16	70-06	$Q = -7 \cdot 10^{-9} A^2 + 0.0002A + 0.97$	0.49	0.7	31	0.092	7.64
...
...
Raspadskaya Colliery, seam 10							
76	4-1029	$Q = -3 \cdot 10^{-8} A^2 + 0.001A + 1.64$	0.93	0.96	26	0.014	70.25

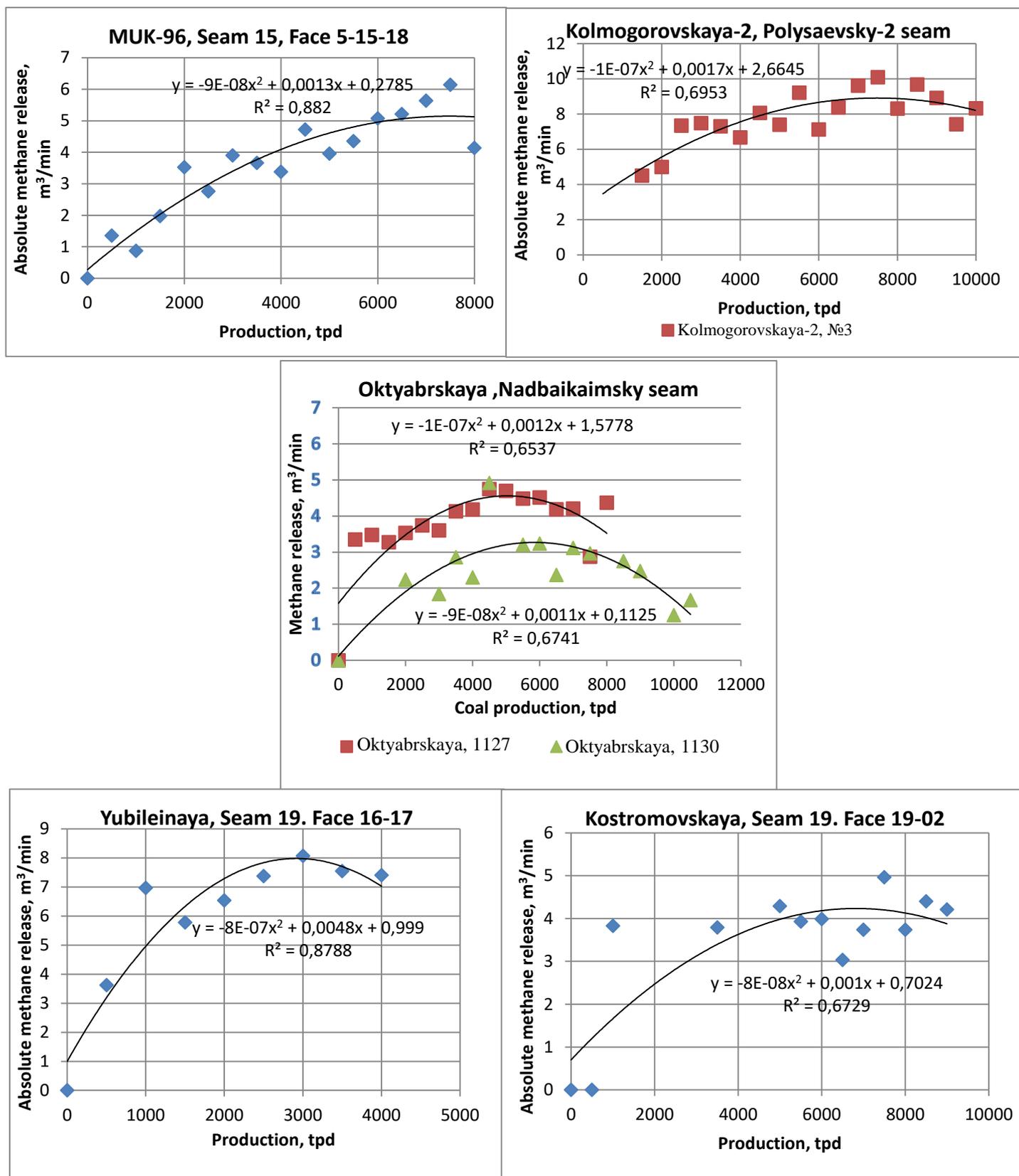


Fig. 2. Actual data and regression dependences of absolute methane release on the working face performance at the MUK-96, Kolmogorovskaya-2, Oktyabrskaya, Yubileynaya, Kostromovskaya collieries

Analysis of dependences (2) shows that methane release from loose coal demonstrates inversely proportional linear-hyperbolic dependence on the shearer feed speed and productivity, having a peak point (Fig. 3). As can be seen in Fig. 3, this theoretical methane release curve (2) describes well the data on the actual methane release in the face and differs significantly from the normative dependence shown in Fig. 1. Methane release from loose coal significantly (quadratically) decreases with decreasing the rotational speed of the auger (cutting drum) and the number of cutters in the cutting line or the number of blades on the auger (drum). Methane release also quadratically increases with increasing seam thickness and the shearer cutting width.

In connection with the existence of a methane release rate maximum point, the methodology for estimating permissible productivity (performance) of a production face by gas factor should be changed. According to the existing instructions [2–4], the value of the maximum permissible productivity (A_{\max}) of a face is estimated by the formula:

$$A \leq A_{\max} = \frac{0.6v_{\max}Sk_{oz}c}{k_e K_{mi}(q - q_o)K_{WA}}, \text{ t/min}, \quad (3)$$

where $v_{\max} = 4$ m/s is the maximum air stream speed in a face allowed by the safety rules [11]; S is the inner cross-sectional area, m^2 ; $k_{oz} = 1.05 \div 1.30$ is the coefficient taking into account air leaks into the mined-out space; $c = 1\%$ is the permissible concentration of methane in the return ventilation air from a longwall according to the Safety Rules; q, q_o are the natural and residual methane content of coal, m^3/t , respectively; K_{WA} is the coefficient taking into account the coal natural moisture and ash content; k_e is the coefficient of natural coal mass outgassing in a shearer cut.

As can be seen in Fig. 4, the extremum function of methane concentration forms an area of unacceptable values of the shearer feed speed and productivity:

$$\begin{aligned} v_{\min} < v < v_{\max}; \\ A_{\min} < A < A_{\max}; \\ A_{\max} &= \gamma m r v_{\max} \end{aligned} \quad (4)$$

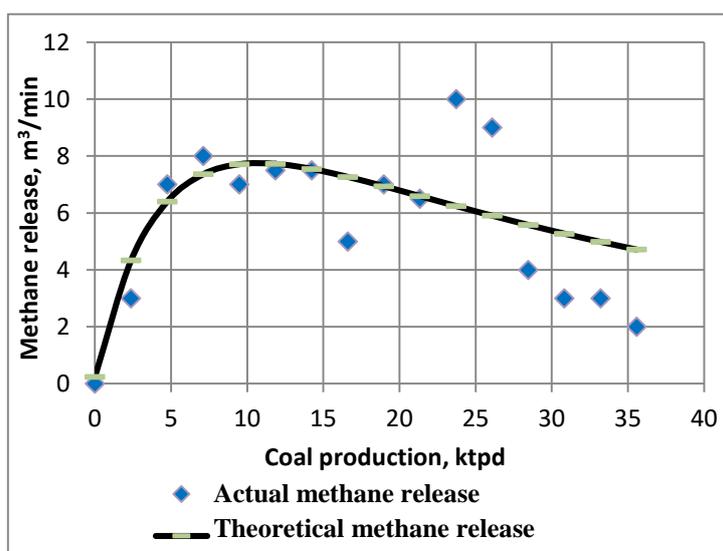


Fig. 3. Theoretical dependence (2) and actual methane release in longwall 5203 of the Kotinskaya colliery

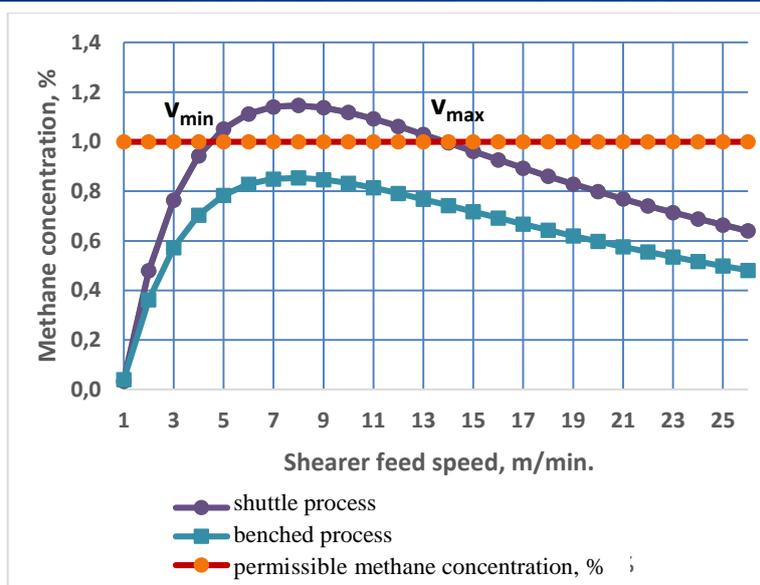


Fig. 4. Dependencies of methane concentration in upcast in longwall 5005 of the Named after V. D. Yalevsky colliery on shearer rate of advance for shuttle and benched process flow sheets

and, correspondingly, the area of the permissible shearer feed speed and productivity by gas factor is determined by meeting one of two conditions, depending on the shearer capacity:

$$A < A_{\min} \vee A > A_{\max}, \quad (5)$$

where v_{\min} , v_{\max} , A_{\min} , A_{\max} are the boundary values of the shearer feed speed and productivity based on the gas factor.

In particular, for longwall 5005 of the Named after V.D. Yalevsky colliery, these boundary values for the shuttle PFS are as follows (Fig. 4):

$$v_{\min} = 4.8 \text{ м/МИН}, v_{\max} = 14.0 \text{ м/МИН};$$

$$A_{\min} = 19.5 \text{ т/МИН}, A_{\max} = 57 \text{ т/МИН}.$$

At the Named after V.D. Yalevsky colliery, the option of the maximum permissible performance (productivity) of the production face was implemented, and the extraction panel of seam 50 was extracted at the shearer SL-900 speed exceeding 14 m/min and daily performance of more than 50 ktpd.

It is obvious that the process safety of the entire coal mining enterprise will depend on methane release regimes. A significant number of studies are devoted to this issue in Russia and abroad, but solving the problems of process safety always requires reliable methane release

estimation model based on the process parameters of mining operations [10-20].

Conclusions

Based on the statistical analysis of air-gas monitoring data for 76 Kuzbass production faces, the parabolic dependence, having a peak point, of methane release from the loose coal on a shearer feed speed and productivity was established with high confidence.

A theoretical explanation of the effect of reducing methane release from loose coal at a high productivity of the shearer is that increasing the shearer feed speed and productivity results in changing the loose coal fractional composition, namely, the yield of fine fractions decreases whereas the yield of coarse fractions increases.

It was theoretically established using Darcy's law and Langmuir sorption equation that methane release from loose coal demonstrates inversely proportional linear-hyperbolic dependence on the shearer feed speed and productivity, having a peak point.

Analysis of the established dependence of the rate of methane release from the loose coal shows that the methane release significantly (quadratically) decreases with decreasing the auger (cutting drum) rotational speed and the number of cutters in the cutting line, or the number of blades on the auger (drum). Methane release

also quadratically increases with increasing seam thickness and the shearer cutting width.

The extremum dependence of the rate of methane release from loose coal forms two areas of permissible shearer feed speed and productivity by gas factor.

Thus, it is necessary to revise the existing methodological approaches to estimating methane release in high-performance production

faces in order to take into account the extremum dependence of methane release on a shearer feed speed and productivity, and, when estimating the permissible productivity of a production face by gas factor, the possibility of reducing methane release at significant increasing a shearer feed speed and productivity should be taken into account.

References

1. Timoshenko A. M., Baranova M. N., Nikiforov D. V., et al. Some aspects of the application of regulatory documents in designing high-performance extraction districts in coal mines. *Vestnik Nauchno centra VostNII*. 2010;1:5–15. (In Russ.).
2. *Coal Mine Ventilation Design Guide*. MakNII, Osnova Publ., Kiev; 1994. 158 p. (In Russ.).
3. Grashchenkov N. F., Petrosyan A. E., Frolov M. A. et al. *Mine Ventilation: Handbook*. Ed. K.Z. Ushakov, Moscow: Nedra Publ; 1988. 439 p. (In Russ.).
4. *Instruction for the use of mine extraction district ventilation diagram at isolated methane removal from mined-out space using gas-suction plants*. Approved by Order of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision No. 680 of 12.01.2011. Moscow; 2011 (In Russ.).
5. Ziburdaev G. S., Novikova I. A., Podobrazin A. S. Methane and dust emission during operation of auger operating devices. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2008;(53):243-249. (In Russ.).
6. Ordin A.A., Timoshenko A. M. About influence of coal fractional composition on methane release at production face. *Fiziko-tehničeskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2016;(3):104–109. (In Russ.).
7. Ordin A. A., Timoshenko A. M. Nonlinear dependences of methane release on natural methane content of a coal seam and on kinematic parameters of shearer cutters. *Fiziko-tehničeskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2017;2:110–116 (In Russ.).
8. Boki A. B. Effect of the level of coal production on the rate of release of greenhouse gases to stopes. In: *Collection of research papers "Geotechnical Mechanics"* Dnepropetrovsk. 2010;(88):247-255. (In Russ.).
9. Plotnikov V. P. Derivation of the formula for calculating the performance of shearers with auger, drum, or crown operating device. *Ugol'*. 2009;(9):5–7. (In Russ.).
10. Semykin Yu. A. *Improving safety of coal mining based on intensification of gas release from formation boreholes and improving the method for predicting gas content at production face*. Ph.D. thesis in Engineering Science. Moscow: NITU MISiS; 2016. (In Russ.).
11. *Federal norms and rules for industrial safety "Safety rules in coal mines"*. Series 05. CJSC NTTsIPPB. 2017;40. 198 p. (In Russ.).
12. Plakitkina A.S. *Analysis and prospects of development of coal industry in developed countries, the former USSR, and Russia up to 2030*. Moscow: INEI RAS Publ.; 2013. 415 p. (In Russ.).
13. Nikolsky A.M., Kovalenko A.A., Tishkov M.V., Neverov A.A., Neverov S.A. *Method of underground mining of under-pit reserves in difficult mining and geological conditions*. Novosibirsk: Nauka Publ. 2017; 328 p. (In Russ.).
14. Conroy P. J., Curth E. A. *Longwall Mining in Illinois, Longwall- Shortwall Mining State-of-the-Art*. SME-AIME; 1981.
15. Peng S. S., Chiang Y. S. *Longwall mining*. John Wiley & Song Inc., New York; 1984. 135 p.
16. Yu Shou Liu. *Analysis of different techniques for respirable dust control in longwall operations – particular in reference to the Bull Seam*. Southern Coal Field. Australia; 1992. 86 p.
17. Winter J., Pineau J.P. *Effect of Nitrogen on Methane and Coal Dust Explosion in galleries*. Archivum Combustionis. (1–4).
18. Mc Pherson M. The Westray Mine Explosion. In: *Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress*. Krakow, EMAGE; 2001.
19. Feng K.K. Hazardous character of Canadian coal dusts. In: *Proceedings of the 20th International Conference of Safety in Mines. Schelfield*. Health and Safety Executive ed.; 1983.
20. Eckhoff R. *Dust explosions in the process Industries*. Oxford, Butterworth–Haniemann; 1991.

**Библиографический список**

1. Тимошенко А.М., Баранова М.Н., Никифоров Д.В. и др. Некоторые аспекты применения нормативных документов при проектировании высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт. Вестник НЦ ВостНИИ. 2010;1:5–15.
2. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт*. МакНИИ, Основа. Киев, 1994. 158 с.
3. Гращенков Н.Ф., Петросян А.Э., Фролов М.А. и др. *Рудничная вентиляция*: Справочник под ред. К. З. Ушакова. М.: Недра; 1988. 439 с.
4. *Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок*. Утверждена приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01.12.2011 № 680. М.; 2011.
5. Забурдяев Г.С., Новикова И.А., Подображин А.С. Метано- и пылевыведение в процессе работы шнековых исполнительных органов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2008;(53):243-249.
6. Ордин А.А., Тимошенко А.М. О влиянии фракционного состава угля на метановыделение в очистном забое. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2016;(3):104–109.
7. Ордин А.А., Тимошенко А.М. Нелинейные зависимости метановыделения от природной метаносности угольного пласта и кинематических параметров резцов очистного комбайна. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2017;(2):110–116.
8. Бокий А.Б. Влияние уровня угледобычи на дебит парниковых газов в очистную выработку. *Сб. науч. тр. «Геотехническая механика»*. Днепропетровск. 2010;(88):247-255.
9. Плотников В.П. Вывод формулы для расчета производительности очистных комбайнов со шнековым, барабанным или корончатым исполнительным органом. *Уголь*. 2009;(9):5–7.
10. Семькин Ю.А. *Повышение безопасности добычи угля на основе интенсификации газовыделения из пластовых скважин и совершенствования метода прогноза газообильности очистного забоя*: Дис. ... канд. техн. наук. М.: НИТУ «МИСиС», 2016.
11. *Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах»*. Сер. 05. ЗАО «НТЦИППБ», 2017. Вып. 40. 198 с.
12. Плакиткина А.С. *Анализ и перспективы развития угольной промышленности основных стран мира, бывшего СССР и России в период до 2030 г.* М.: ИНЭИ РАН; 2013. 415 с.
13. Никольский А.М., Коваленко А.А., Тишков М.В., Неверов А.А., Неверов С.А. *Технология подземной отработки подкарьерных запасов в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях*. Новосибирск: Наука, 2017. 328 с.
14. Conroy P. J., Curth E. A. *Longwall Mining in Illinois, Longwall- Shortwall Mining State-of-the-Art*. SME-AIME; 1981.
15. Peng S. S., Chiang Y. S. *Longwall mining*. John Wiley & Song Inc., New York; 1984. 135 p.
16. Yu Shou Liu. *Analysis of different techniques for respirable dust control in longwall operations – particularly in reference to the Bull Seam*. Southern Coal Field. Australia; 1992. 86 p.
17. Winter J., Pineau J.P. *Effect of Nitrogen on Methane and Coal Dust Explosion in galleries*. Archivum Combustionis. (1–4).
18. Mc Pherson M. The Westray Mine Explosion. In: *Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress*. Krakow, EMAGE; 2001.
19. Feng K.K. Hazardous character of Canadian coal dusts. In: *Proceedings of the 20th International Conference of Safety in Mines. Schelfield*. Health and Safety Executive ed.; 1983.
20. Eckhoff R. *Dust explosions in the process Industries*. Oxford, Butterworth–Haniemann; 1991.

ORIGINAL PAPERS / ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103

Assessment of Gravity Dressability of Gold Ore – GRG Test**B. N. Surimbayev, E. S. Kanaly, L. S. Bolotova, S. T. Shalgymbayev**

"State Scientific and Production Concern for Industrial Ecology "Kazmekhanobr" (Branch of Republican State Enterprise "National Center for Integrated Processing of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan"),
Almaty, Kazakhstan

Abstract: Gravity methods are widely used for processing of gold ores. But many aspects of these processing techniques require improvement. In the study, methods of fire assay, gravimetric, chemical, mineralogical analyses of gold ores were used. In terms of sulfide sulfur content and degree of sulfur oxidation, the gold ore is assigned to the low-sulfide type of ore in the primary zone. Mineralogical analysis showed the ore-bearing rock is represented by phyllite. Gold in the ore occurs mainly in the form of free large and fine particles. The fine gold is closely associated with pyrite. GRG test was carried out for assessing gravity dressability of the gold ore. The total gold recovery is more than 41 %. The highest gold recoveries were achieved at the first stage at 100 % of –1.6 mm ore grain size, and at the third stage at 80 % of –0.071 mm ore grain size. This indicates that both relatively large gold and fine free gold particles are present in the ore. This is also confirmed by mineralogical analysis. The GRG test results showed that the gold ore can be effectively concentrated using centrifugal concentrators. The level of gold recovery by gravity at the multi-stage ore grinding is quite high. When developing the ore concentration process flow sheet, gravity separation in centrifugal concentrators should be included.

Keywords: gravity separation methods, GRG test, gold ore, assessment of gravity dressability of gold ore, gold ore concentration, centrifugal concentrators.

For citation: Surimbayev B. N., Kanaly E. S., Bolotova L. S., Shalgymbayev S. T. Assessment of gravity dressability of gold ore – GRG test. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):92-103. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103.

Оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды – GRG**Суримбаев Б. Н., Каналы Е. С., Болотова Л. С., Шалгымбаев С. Т.**

Филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр»
(Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханобр»), г. Алматы, Казахстан

Аннотация: Гравитационные методы широко применяются при переработке золотосодержащих руд. Но многие аспекты этого направления обогащения требуют совершенствования. В работе использованы методы пробирно-гравиметрического, химического, минералогического анализов золотосодержащей руды. Золотосодержащая руда по содержанию сульфидной серы и степени окисления серы отнесена к убогосульфидному типу руды первичной зоны. По данным минералогического анализа, руда представлена глинисто-слиудистыми сланцами. Золото в рудах находится в виде свободных крупных и мелких зерен, преобладает золото свободное. Мелкое золото тесно ассоциируется с пиритом. Для оценки гравитационной обогатимости золотосодержащей руды проведен GRG-тест. Суммарное извлечение золота составляет более 41 %. Наиболее высокие показатели извлечения золота получены на первой стадии при крупности 100 % класса –1,6 мм и третьей стадии при крупности 80 % класса –0,071 мм. Это указывает на то, что в руде присутствуют и относительно крупные золотины, и мелкие свободные, что подтверждается минералогическим анализом. Результаты GRG-теста показали, что золотосодержащая руда эффективно обогащается на центробежных концентраторах. Уровень извлечения золота гравитацией при стадийном измельчении руды достаточно высок. При разработке технологической схемы обогащения руды необходимо предусмотреть гравитационное обогащение на центробежных концентраторах.

Ключевые слова: гравитационные методы обогащения, GRG-тест, золотосодержащая руда, оценка гравитационной обогатимости руды, обогащение золота, центробежные концентраторы.



Для цитирования: Сурымбаев Б. Н., Каналы Е. С., Болотова Л. С., Шалгымбаев С. Т. Оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды – GRG. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):92-103. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103.

Introduction

Gravity separation is separation of minerals based on difference in their density. Gravity separation methods are known and used for millennia [1, 2]. Despite widespread use of flotation beneficiation methods, as well as magnetic and electrical separation, hydrometallurgical processes, gravity separation methods do not lose their relevance, and corresponding process flow sheets and equipment are permanently being improved [3, 4]. All methods of gravity separation are implemented at relatively low capital and operating costs, being highly productive and environmentally friendly. Gravity separation has practically no alternative when processing ores of placer deposits far removed from required infrastructure [5–7].

Over the latest decades, centrifugal facilities for advanced processing of mineral raw materials are becoming more widespread. To determine the proportion of gold recoverable from ore (sands) using gravity separation, a Knelson centrifugal concentrator (Knelson) is used. This method, which has become the standard in beneficiation, provides valuable information on the gold recoverability by gravity, as well as the ability to compare the dressability of different ores. In such studies, not only the proportion of gravity recoverable gold is determined, but also its actual particle size [8–14].

Gravity separation of gold ores may result in gold losses at the grinding stage, as large particles of gold become overground and "stick" onto walls of the mill. For the first time, to reduce the losses at the grinding stage, a special GRG test (Gravity recoverable gold test) was developed by

Andre Laplante, professor at the McGill University of Canada. Later the technique was improved by Knelson [15–22].

According to this technique, the amount of gold recovered in the GRG test characterizes the ore dressability by gravity methods. The GRG test design is based on the fact that stepwise ore grinding allows the extraction of precious metals in the course of their liberation without overgrinding and abrasion of large metal particles. The GRG test consists of three successive stages of the liberation of minerals and three stages of beneficiation. With stepwise grinding, the content of gravity recoverable gold [17–19, 23, 24] is determined as accurately as possible.

The study is aimed at assessing gravitational dressability of gold ore using GRG test.

Research Subject and Methods

The research subject is gold ore of one of Kazakhstani deposits, located in Kostanay Region. According to the results of fire assay with gravimetric finish, the ore average gold grade is 1.60 g/t, and that of silver, 3.49 g/t.

For the analysis of other elements, chemical decomposition and determination of the content of the accompanying metals by atomic absorption method were used. For phase analysis for sulfur, chemical-gravimetric method was used. Chemical composition of the ore is presented in Table 1.

Comprehensive mineralogical analysis was carried out using X-ray diffraction (phase) analysis, as well as microscopic and optical methods. The samples were studied under the microscope in thin sections, polished sections, artificial briquettes and immersion media. Gold grains were studied using the JEOL JXA-8230 Electron Probe Microanalyzer.



Table 1

Chemical composition of gold ore

Component	Percentage, %	Component	Percentage, %
Cu	0.004	K ₂ O	1.58
Ni	0.001	SiO ₂	67.29
Co	0.003	Al ₂ O ₃	12.38
Zn	0.005	As	0.02
Pb	0.002	Sb	0.01
Fe	3.67	S _{tot}	0.30
CaO	1.96	S _{sulfide}	0.29
MgO	1.10	S _{sulfate}	0.01
Na ₂ O	2.07	Sulfur oxidation degree	3.33

Note.**Ore type:**

- based on sulfur oxidation degree – primary;
- based on sulfide sulfur content – low-sulfide.

Comprehensive mineralogical analysis was carried out using X-ray diffraction (phase) analysis, as well as microscopic and optical methods. The samples were studied under the microscope in thin sections, polished sections, artificial briquettes and immersion media. Gold grains were studied using the JEOL JXA-8230 Electron Probe Microanalyzer.

X-ray diffraction analysis of averaged samples was performed using the DRON-4 diffractometer with CuK α radiation, β filter. The X-ray diffraction (XRD) pattern producing conditions were as follows: U = 35 kV; I = 20 mA; shooting θ –2 θ ; detector – 2 deg/min.

Semi-quantitative X-ray diffraction analysis was carried out based on the diffraction patterns of powdered samples using the method of equal subsamples and artificial mixtures. Quantitative ratios of crystalline phases were determined. The X-ray diffraction patterns were interpreted using the ICDD card-index data: PDF2 (Powder Diffraction File) powder diffraction data base and the diffraction patterns of minerals free of impurities. For the major phases, the content was estimated.

The gold ore gravity dressability was estimated by the GRG test using the Knelson centrifugal concentrator (KC-MD3) under the following conditions: centrifugal acceleration - 60G; fluidizing water consumption – 3.5 dm³/min; solids

productivity – 0.5–0.6 kg/min; excess pressure of the fluidizing water – 10–14 kPa; the solids content in the pulp fed to gravity separation is 25–30 %.

GRG test design. The GRG test was conducted using a 10-kg ore sample at the Knelson concentrator (KC-MD3). This test was carried out in three stages. At the first stage, the ore weighing 10 kg was crushed to 100% passing 1.6 mm, and the crushed ore was processed at the Knelson concentrator. Next, the tailings of the first stage were re-ground to 80% passing 0.3 mm and processed at the Knelson concentrator. At the 3rd stage, the tailings of the 2nd stage were re-ground to 80% passing 0.071 mm. During the process, at all the stages, samples were taken from the tailings for assays and compiling the process balance. The obtained beneficiation products (concentrates and tailings) were analyzed by fire assay-gravimetric method [18, 23].

The GRG test design is given in Fig. 1.

Research Findings and Discussion

In terms of sulfide sulfur content and degree of sulfur oxidation, the gold ore is assigned to the low-sulfide type of ore in the primary zone.

Mineralogical analysis showed the ore matrix is represented by phyllite, altered to different degrees: silicified, albitized, feldsparized, and carbonatized (Figs. 2–4).

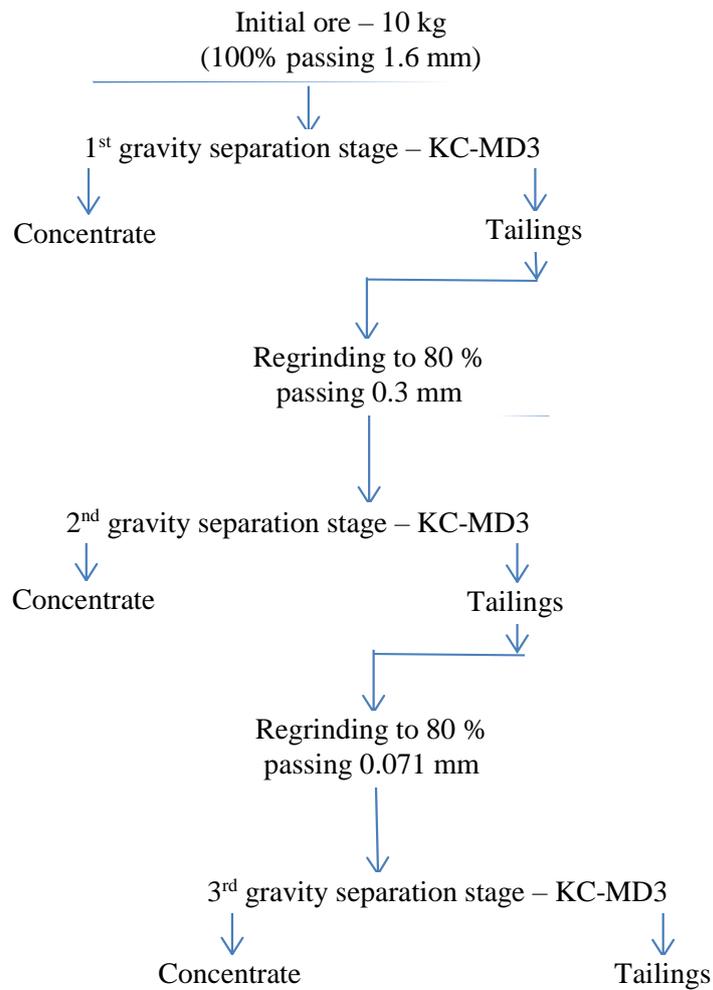


Fig. 1. GRG test design

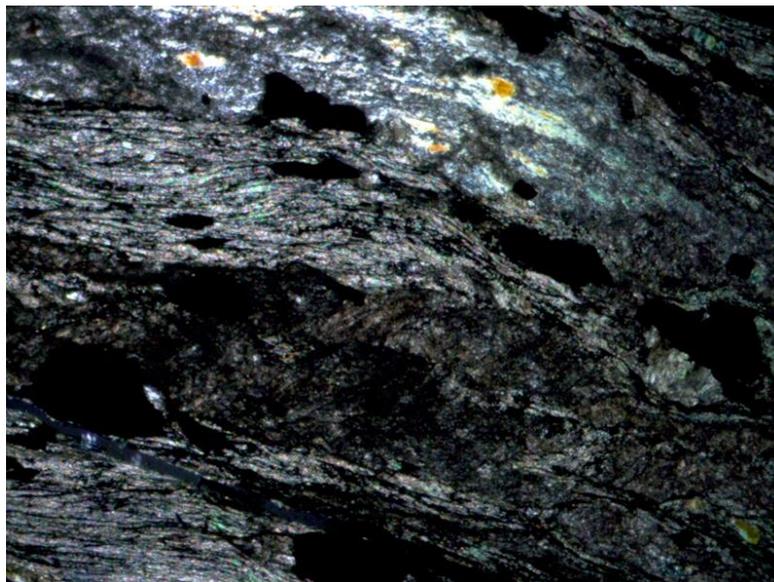


Fig. 2. Phyllite; thin section, ×40

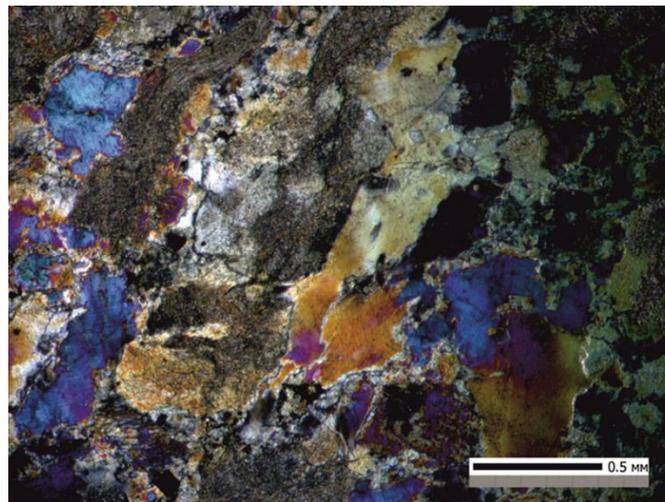


Fig. 3. Silicified, albitized and feldsparized shale; thin section, $\times 40$

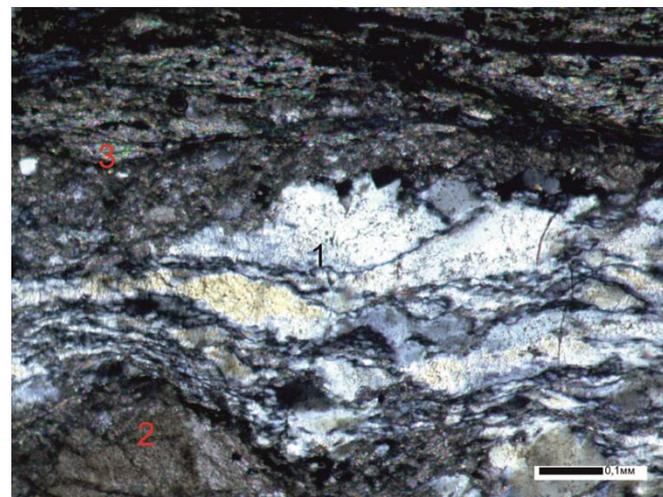


Fig. 4. Silicified and dolomitized phyllite; thin section, $\times 100$:
 1 – quartz; 2 – dolomite; 3 – muscovite

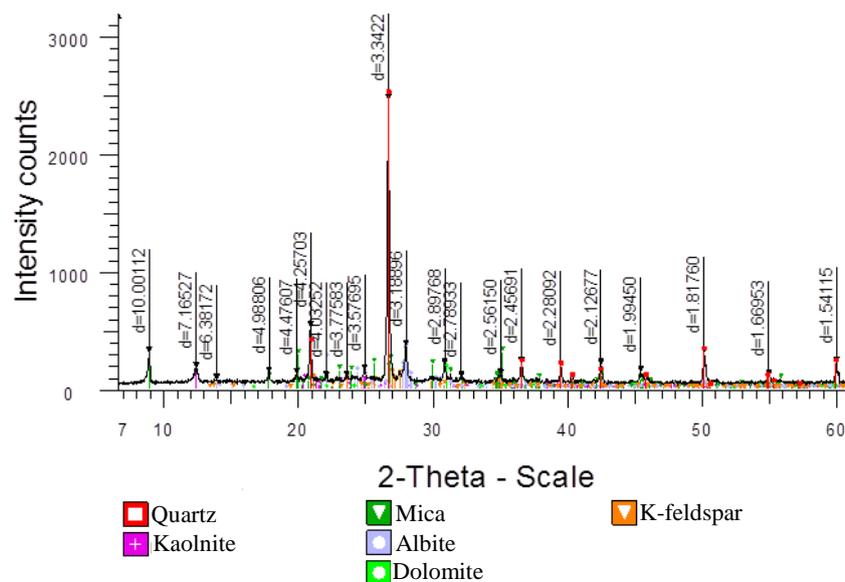


Fig. 5. X-ray diffraction pattern of averaged sample

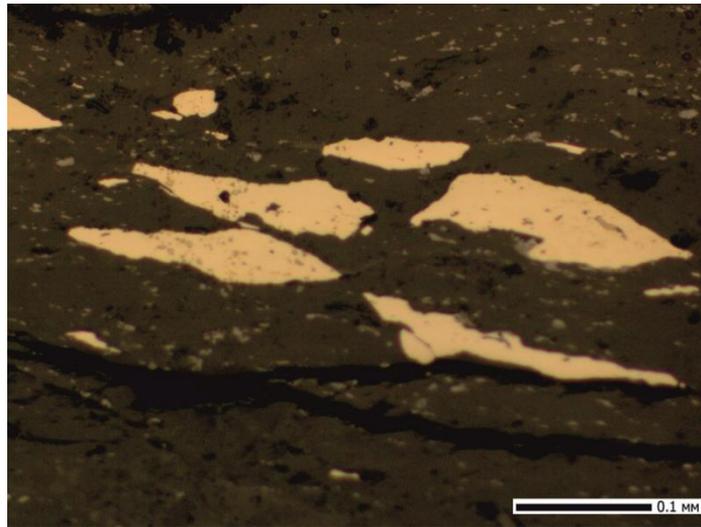


Fig. 6. Pyrite: elongated, oriented along the rock bedding; polished section, $\times 200$

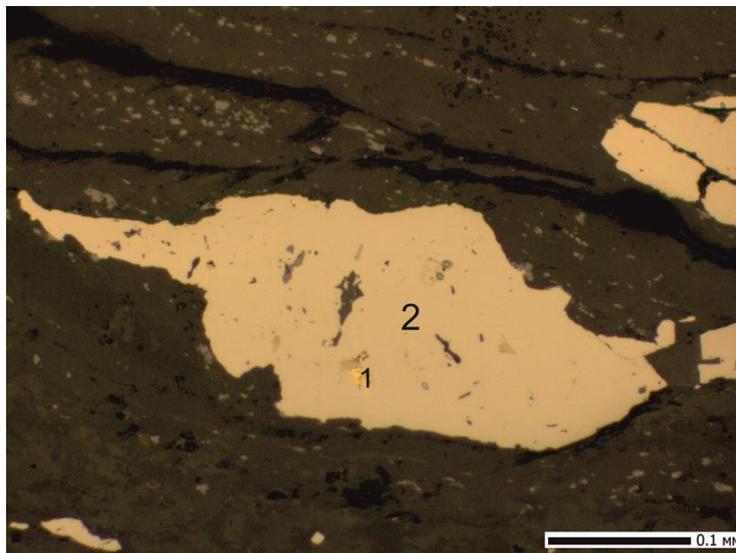


Fig. 7. Gold (1) in pyrite (2); polished section, $\times 200$

The identification of the mineral phases based on the X-ray diffraction analysis data is shown in the X-ray diffraction pattern (Fig. 5).

Mineralogical composition of the averaged sample is as follows (%): ore minerals: pyrite – 0.5–1.0; arsenopyrite – 0.1–0.2; iron oxides and hydroxides – 6–7; chalcopyrite and lead sulfosalts – occasional small particles; rock-forming minerals: quartz – 46–47, kaolinite – 20–21, mica – 9–10, potassium feldspar – 2, albite – 9–10, dolomite – 5–6. Pyrite forms crystalline-granular aggregates in the ore mass of the averaged sample, when the aggregates contain elongated pyrite grains, oriented along

the rock schistosity (Fig. 6). It should be noted that most of iron in the sample occurs in oxidized form.

Gold in the ores occurs in the form of free large and small grains. Free platy gold grains 0.06 to 0.20 mm in size prevails. Fine gold is closely associated with pyrite, forming inclusions of 0.005, 0.007, and 0.015 mm in size dispersed within pyrite (Fig. 7).

According to the fire assay, chemical, and mineralogical analyzes data, only gold is commercially valuable component in the ores.

GRG test was carried out for assessing gravity dressability of the gold ore. The GRG test results are given in Table 2.



Table 2

GRG test results

Product	Yield		Au Grade (g/t)	Au distribution, %
	g	%		
1st stage - 100% of -1.6 mm grain size				
Concentrate 1	115.9	1.16	25.57	17.53
Tailings 1	9884.1	98.84	1.41	82.47
Ore	10,000.0	100.00	1.69	100.00
2nd stage – 80% of -0.3 mm grain size				
Concentrate 2	113.8	1.15	17.60	14.48
Tailings 2	9,770.3	98.85	1.21	85.52
Feed (tailings 1)	9884.1	100.00	1.40	100.00
3rd stage – 80% of -0.071 mm grain size				
Concentrate 3	119.6	1.22	17.15	17.10
Tailings 3	9,650.8	98.78	1.03	82.90
Feed (tailings 2)	9,770.3	100.00	1.23	100.00
Total				
Concentrate 1	115.90	1.16	25.57	17.48
Concentrate 2	113.78	1.14	17.60	11.81
Concentrate 3	119.56	1.20	17.15	12.09
Concentrates, total	349.24	3.49	20.09	41.38
Tailings	9,650.76	96.51	1.03	58.62
Ore	10,000.0	100.00	1.696	100.00

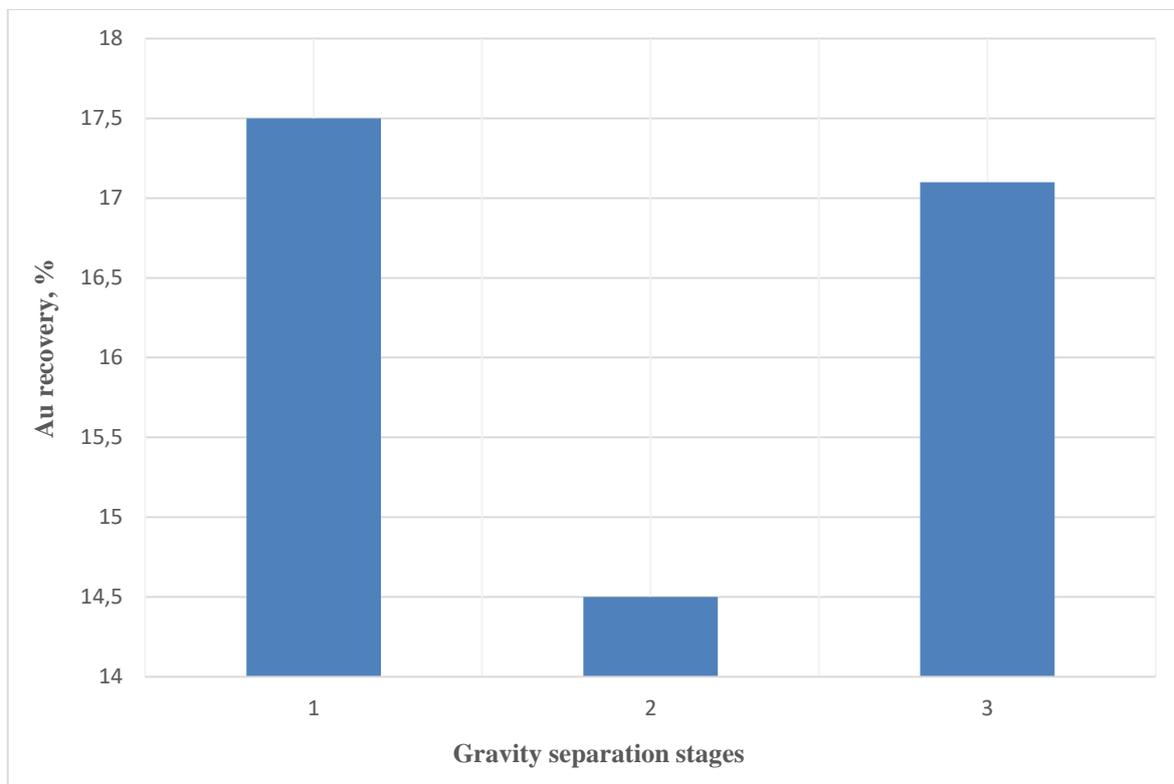
**Fig. 8. Recovery of gold by concentration stage**



Table 2 data show that the total gold recovery is more than 41%. The efficiency of each stage of the gravity separation (recovery at each stage) in the GRG test is shown in Fig. 8.

The highest gold recoveries were achieved at the first stage at 100 % ore particles passing 1.6 mm, and at the third stage at 80% passing 0.071 mm. This indicates that both relatively large gold grains and fine free gold grains (from 0.06 to

0.20 mm) are present in the ore. This is also confirmed by the mineralogical analysis (Figs. 9–11).

Total percentage of gravity recoverable gold depending on the ore grain size is presented in Fig. 12.

Fig. 12 shows that the highest percentage of gold recovery is achieved at ore grinding to 80 % passing 0.071 mm.

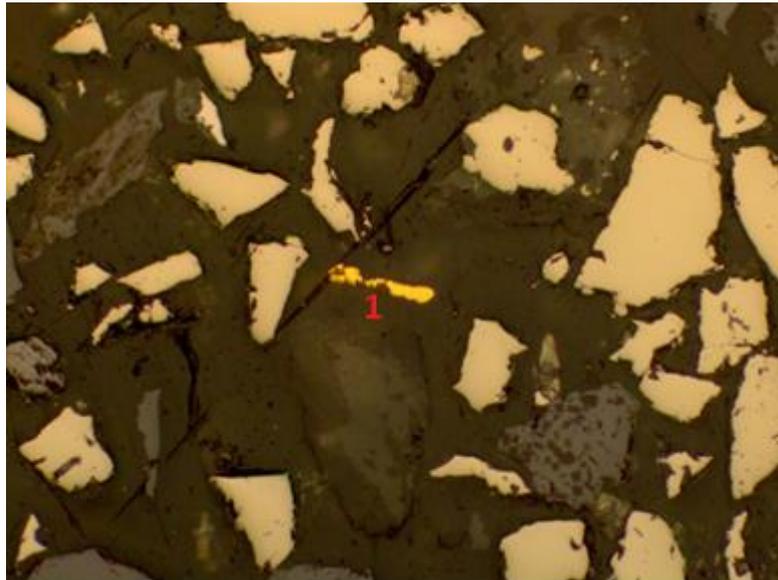


Fig. 9. Platy gold (1); heavy fraction of gravity concentrate, $\times 200$

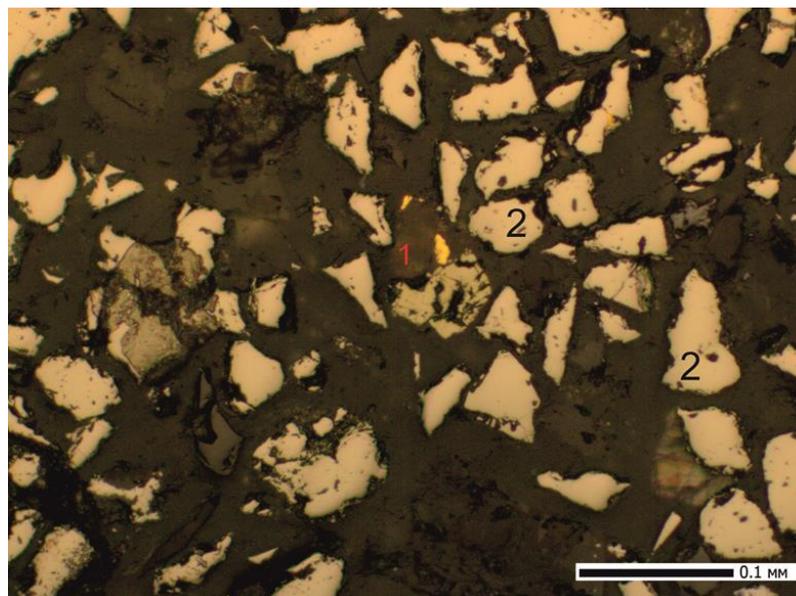


Fig. 10. Platy gold (1), not fully released, in the plane of polished section, and pyrite (2); heavy fraction of gravity concentrate, $\times 200$

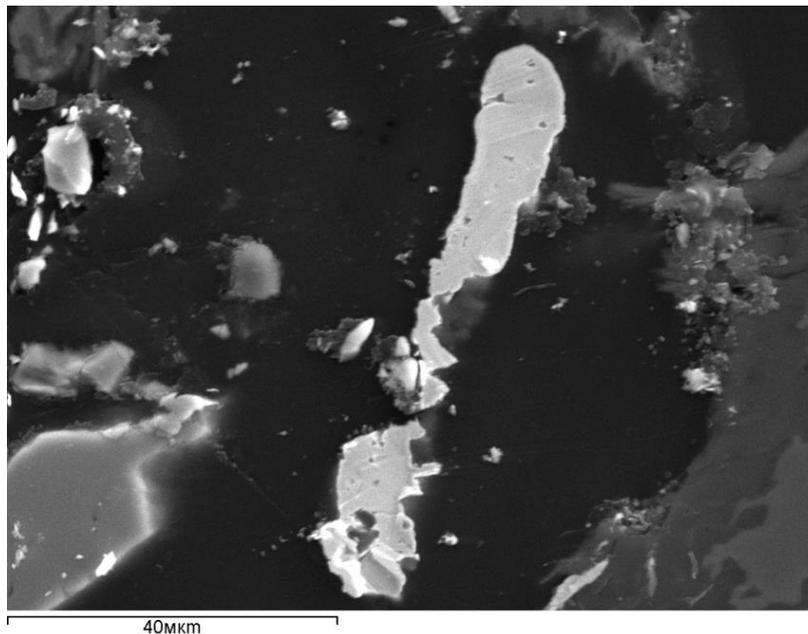


Fig. 11. Electron microprobe analysis for gold; composition (%): Au – 96.54; Ag – 2.78; Fe – 0.68

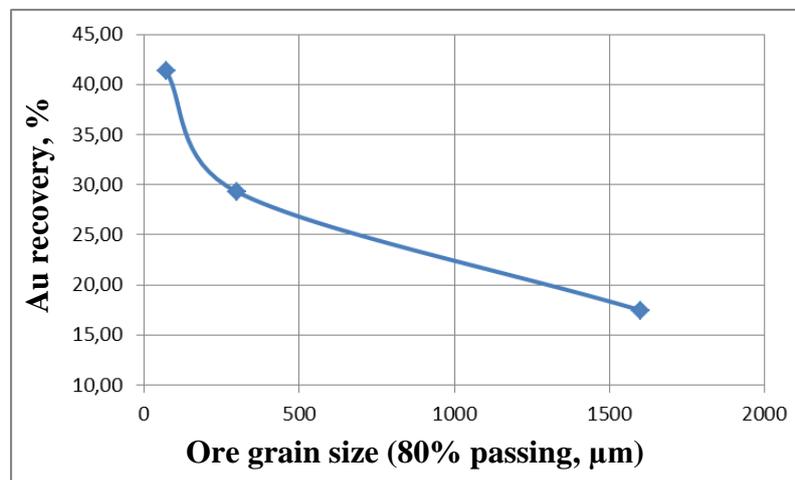


Fig. 12. Total percentage of gold recovered by gravity depending on the ore grain size

Conclusion

The GRG test results showed that the gold ore can be effectively concentrated using centrifugal concentrators. The level of gold recovery by

gravity at the multi-stage ore grinding is quite high. When developing the ore beneficiation process flow sheet, gravity separation in centrifugal concentrators should be included.

References

1. Wills B. A., Finch J. A. Gravity Concentration. *Wills' Mineral Processing Technology*. Elsevier; 2016. P. 223–244. DOI: 10.1016/B978-0-08-097053-0.00010-8.
2. Gravity Concentration. Chapter 4. GMP – Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners. P. 34–52. Available from: http://artisanalmining.org/Repository/01/The_CASM_Files/CASM_Projects/Topic_Mercury/Pg34-52Ch4GravityConcentration.pdf. [Accessed 07.03.2020].
3. Verkhoturov M.V. *Gravity concentration methods: Textbook for universities and colleges*. Moscow: MAKSPress Publ.; 2006. P. 7–9. (In Russ.).
4. Shokhin V.I., Lopatin A.G. *Gravity concentration methods*. Moscow: Nedra Publ.; 1993. P. 5–6. (In Russ.).
5. Glembotskaya T.V. *The emergence and development of gravitational methods of mineral processing*. Moscow: Nauka; 1991. P. 121. (In Russ.).

6. Habashi F. Gold – An historical introduction. *Developments in Mineral Processing*. 2005;15:XXV–XLVII. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15045-5.
7. Surimbayev B. N., Baikonurova A. O., Bolotova L. S. Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* Almaty, Kazakhstan. 2017;4(424):133–141.
8. Melnikov V., Rogovoy A., Yastrebov K. Analysis of the experience of domestic and foreign researchers in gravitational and centrifugal concentration of dispersed minerals. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2009;2(38):178–181. (In Russ.).
9. Coulter T., Subasinghe G. K. N. A mechanistic approach to modelling Knelson concentrators. *Miner. Eng.* 2005;18(1):9–17. DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.035.
10. Sakuhuni G. et al. A novel laboratory procedure for predicting continuous centrifugal gravity concentration applications: The gravity release analysis. *Int. J. Miner. Process.* Elsevier B.V. 2016;(154):66–74. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.07.004.
11. Knelson T. M. *Gravity Concentrator – for maximising gold recovery*. Available from: <https://www.fls-midth.com/en-gb/products/precious-metals-recovery/knelson-semi-continuous-gravity-concentrator> [Accessed 07.03.2020].
12. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling. *Miner. Eng.* Elsevier Ltd. 2017;112:57–67. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.07.006.
13. Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikonurova A. Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* 2018;5(431):32–37. DOI: 10.32014/2018.2518-170X.7.
14. Noaparast M., Laplante A. R. Free gold particles selection and breakage functions estimation. *Iran. J. Sci. Technol., Trans. B Eng.* 2004;28(6B):667–677.
15. Fullam M. et al. Advances in Gravity Gold Technology. *Gold Ore Processing*. Elsevier; 2016. P. 301–314. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00019-0.
16. Laplante A., Gray S. Advances in gravity gold technology. *Developments in Mineral Processing*. Elsevier. 2005;15:280–307. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15013-3.
17. Koppalkar S. et al. Understanding the discrepancy between prediction and plant GRG recovery for improving the gold gravity performance. *Miner. Eng. Pergamon*. 2011;24(6):559–564. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.09.007.
18. Laplante A. R. *A Standardized Test to Determine Gravity Recoverable Gold*. Available from: <http://knelsonrussian.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report21s.pdf> [Accessed: 07.03.2020].
19. Laplante A. R., Dunne R. C. The Gravity recoverable gold test and flash flotation. In: *Proceeding 34th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors*. Ottawa, Canada; 2002. Available from: <http://seprosystems.com/language/wp-content/uploads/2016/09/laplante.pdf>. [Accessed: 10.03.2020].
20. Woodcock F.C., Frederick C. *Use of a Knelson unit to quantify gravity recoverable gold in an ore*. 1996. P. 1674–1674.
21. Clarke J. A simplified gravity-recoverable-gold test. *ProQuest*, 2007.
22. Laplante A. R. et al. Practical considerations in the operations of gold gravity circuits. In: *Proceedings 26th Annual Mineral Processors Conference*. Ottawa, Paper. 1994;23.
23. Surimbayev B., Bolotova L., Esengaraev E., Mazyarkina L. A study of gravity separation of gold ores of the Raigorodok deposit. *Industry of Kazakhstan*. 2017;101(2):40–42. (In Russ.).
24. Myrzaliev B., Nogaeva K., Molmakova M. Determination of Jamgyr Deposit Ore Gravity Concentration Feasibility. *Proc. Irkutsk State Tech. Univ.* 2018;22(10):153–165. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-153-165.

Библиографический список

1. Wills B. A., Finch J. A. Gravity Concentration. *Wills' Mineral Processing Technology*. Elsevier; 2016. P. 223–244. DOI: 10.1016/B978-0-08-097053-0.00010-8.
2. Gravity Concentration. Chapter 4.GMP – Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners. P. 34–52. Available from: http://artisanalmining.org/Repository/01/The_CASM_Files/CASM_Projects/Topic_Mercury/Pg34-52Ch4GravityConcentration.pdf [Accessed 07.03.2020].
3. Верхотуров М. В. Гравитационные методы обогащения: учебник для вузов. М.: МАКС Пресс, 2006. С. 7–9.
4. Шохин В. И., Лопатин А. Г. *Гравитационные методы обогащения*. М.: Недра; 1993. С. 5–6.
5. Глембоцкая Т. В. *Возникновение и развитие гравитационных методов обогащения полезных ископаемых*. М.: Наука; 1991. С. 121.
6. Habashi F. Gold – An historical introduction. *Developments in Mineral Processing*. 2005;15:XXV–XLVII.
7. Surimbayev B. N., Baikonurova A. O., Bolotova L. S. Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* Almaty, Kazakhstan. 2017;4(424):133–141.
8. Мельников В., Роговой А., Ястребов К. Анализ опыта отечественных и зарубежных исследователей в направлении гравитационного и центробежного обогащения дисперсных полезных ископаемых. *Вестник ИргТУ*. 2009;2(38):178–181.
9. Coulter T., Subasinghe G. K. N. A mechanistic approach to modelling Knelson concentrators. *Miner. Eng.* 2005;18(1):9–17. DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.035.
10. Sakuhuni G. et al. A novel laboratory procedure for predicting continuous centrifugal gravity concentration applications: The gravity release analysis. *Int. J. Miner. Process.* Elsevier B.V. 2016;(154):66–74. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.07.004.
11. Knelson T. M. *Gravity Concentrator – for maximising gold recovery*. Available from: <https://www.fls-midth.com/en-gb/products/precious-metals-recovery/knelson-semi-continuous-gravity-concentrator>. [Accessed 07.03.2020].
12. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling. *Miner. Eng.* Elsevier Ltd. 2017;112:57–67. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.07.006.
13. Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikonurova A. Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* 2018;5(431):32–37. DOI: 10.32014/2018.2518-170X.7.
14. Noaparast M., Laplante A. R. Free gold particles selection and breakage functions estimation. *Iran. J. Sci. Technol., Trans. B Eng.* 2004;28(6B):667–677.
15. Fullam M. et al. Advances in Gravity Gold Technology. *Gold Ore Processing*. Elsevier; 2016. P. 301–314. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00019-0.
16. Laplante A., Gray S. Advances in gravity gold technology. *Developments in Mineral Processing*. Elsevier. 2005;15:280–307. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15013-3.
17. Koppalkar S. et al. Understanding the discrepancy between prediction and plant GRG recovery for improving the gold gravity performance. *Miner. Eng. Pergamon*. 2011;24(6):559–564. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.09.007.
18. Laplante A. R. *A Standardized Test to Determine Gravity Recoverable Gold*. Available from: <http://knelsonrussian.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report21s.pdf> [Accessed: 07.03.2020].
19. Laplante A. R., Dunne R. C. The Gravity recoverable gold test and flash flotation. In: *Proceeding 34th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors*. Ottawa, Canada; 2002. Available from: <http://seprosystems.com/language/wp-content/uploads/2016/09/laplante.pdf>. [Accessed: 10.03.2020].
20. Woodcock F.C., Frederick C. *Use of a Knelson unit to quantify gravity recoverable gold in an ore*. 1996. P. 1674–1674.
21. Clarke J. A simplified gravity-recoverable-gold test. *ProQuest*, 2007.
22. Laplante A. R. et al. Practical considerations in the operations of gold gravity circuits. In: *Proceedings 26th Annual Mineral Processors Conference*. Ottawa, Paper. 1994;23.



23. Суримбаев Б., Болотова Л., Есенгараев Е., Мазяркина Л. Исследование гравитационного обогащения золотосодержащих руд месторождения «Райгородок». *Промышленность Казахстана*. 2017;101(2):40–42.

24. Myrzaliev B., Nogaeva K., Molmakova M. Determination of Jamgyr Deposit Ore Gravity Concentration Feasibility. *Proc. Irkutsk State Tech. Univ.* 2018;22(10):153–165. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-153-165.



ORIGINAL PAPERS / ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-104-118

**Development of Environment-Friendly and Resource-Saving Methods
of Underground Ore Mining in Disturbed Rock Masses**V. I. Lyashenko¹, O. E. Khomenko², V. I. Golik³¹State Enterprise Ukrainian Scientific Research and Design Institute of Industrial Technologies (SE "UkrNIPromtekhologii"), Zheltye Vody, Ukraine;²National Technical University "Dneprovskaya Polytechnica", Dnipro, Ukraine;³North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (SKGTU), Vladikavkaz, Russia

Abstract: One of the most problematic aspects in underground ore extraction in mining-disturbed rock masses is backfilling of man-made voids, which affect origination and redistribution of stress-strain state of the rock mass. Their existence in the earth's crust provokes subsidence/collapse of the day surface and also contributes to arising geomechanical and seismic phenomena. The purpose of the study is to substantiate environmental-friendly and resource-saving methods for backfilling of voids in underground ore mining based on revealing the features of rock integrity of the day surface and life-sustaining activity of the population living in the mining-affected area. The main negative consequences of the impact of mining on the environment and humans are high costs for conserving day surface and ensuring life-sustaining activity of the population living in the mining-affected area, as well as removing large areas of land from human activity, etc. Based on the study of a rock mass stress-strain state using geophysical and surveying methods, an environment-friendly method for backfilling of man-made voids in disturbed rock masses is proposed. It enables ensuring the integrity of the day surface and life-sustaining activity of the population living in the mining-affected area (in the vicinity of mines, dumps, sites of backfilling complexes, preconcentration and heap leaching of metals from substandard ores, tailings storage facilities, etc.). Combined geotechnologies are proposed for backfilling of voids during the development of ore deposits by underground block leaching, and scientific and methodological and technical support was provided for drilling and blasting preparation of hard ores and underground leaching of pilot blocks at the Michurinsky deposit of GP VostGOK, Ukraine. The research findings can be used in underground mining of ore deposits of complicated structure.

Keywords: disturbed rock mass, underground ore mining, environmental and resource-saving method, backfilling of man-made voids.

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

- State Enterprise "Ukrainian Research and Design Institute of Industrial Technology" (SE "UkrNIPromtekhologii"), 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", Dnepr city, Ukraine
- Institute of Geotechnical Mechanics named after N.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnepr city, Ukraine;
- State Higher Educational Institution "Kryvyi Rih National University", Kryvyi Rih, Ukraine;
- Joint-Stock Company VNIPIpromtekhologii, St. Petersburg, Russia;
- Joint-stock company "VNIMI", St. Petersburg, Russia;
- Tselinny Mining and Chemical Complex, Stepnogorsk, the Republic of Kazakhstan.

For citation: Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Golik V. I. Development of environment-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. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-104-118.



Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах

Ляшенко В. И.¹, Хоменко О. Е.², Голик В. И.³

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

²Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина;

³Северо-Кавказский горно-металлургический институт (СКГТУ), г. Владикавказ, Россия

Аннотация: Одним из самых проблемных мест при подземной добыче руд в энергонарушенных массивах является погашение техногенных пустот, которые влияют на возникновение и перераспределение напряженно-деформационного состояния (НДС) массива горных пород. Их существование в земной коре провоцирует нарушение дневной поверхности, а также способствует возникновению геомеханических и сейсмических явлений. Цель исследования – обоснование природоохранных и ресурсосберегающих технологий погашения пустот при подземной добыче руд на основе установления закономерностей проявления горного давления массива горных пород, что позволит обеспечить сохранность дневной поверхности и жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горнодобывающего региона. Основными отрицательными последствиями воздействия горной технологии на окружающую природную среду и человека являются большие затраты на сохранность дневной поверхности и обеспечение жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горных объектов, вывод больших площадей земель из экономического оборота и др. На основе исследования механизма НДС массива пород с использованием геофизических и маркшейдерских методов предложена природоохранная технология погашения техногенных пустот в энергонарушенных массивах. Она позволяет обеспечить сохранность дневной поверхности и жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горных объектов (шахты, отвалы, промышленные площадки для закладочных комплексов, предконцентрации и кучного выщелачивания металлов из некондиционного рудного сырья, хвостохранилищ и др.). Предложены комбинированные геотехнологии погашения пустот при разработке рудных месторождений подземным блочным выщелачиванием и осуществлено научно-методическое сопровождение и техническое обеспечение буровзрывной подготовки скальных руд и отработки ПБВ опытно-экспериментальных блоков на Мичуринском месторождении ГП «ВостГОК», Украина. Результаты исследований могут быть использованы при подземной разработке рудных месторождений сложной структуры.

Ключевые слова: энергонарушенный горный массив, подземная добыча руд, природоохранная и ресурсосберегающая технология, погашение техногенных пустот.

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;

– Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепр, Украина;

– Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог, Украина;

– Акционерное общество «ВНИПИпромтехнологии», г. Санкт-Петербург, Россия;

– Акционерное общество «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург, Россия;

– «Целинный горно-химический комбинат», г. Степногорск, Республика Казахстан.

Для цитирования: 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.



Introduction

The main indicators of effective underground ore mining in the course of development of deposits of complex structure are the rock mass characteristics and technogenic mining conditions [1, 2]. The key factor for ensuring day surface stability during ore mining is the factor of void filling [3, 4]. The problem is especially acute in conditions of complicated deposits, in heterogeneous rock masses with high rock strength and complicated structure [5, 6].

Therefore, substantiation of environmentally sound and resource-saving methods for backfilling of man-made voids in the course of underground ore mining on the basis of establishing patterns of manifestation of rock mass pressure to ensure vital activity of the population living in the mining-affected districts is an urgent scientific, practical and social issue requiring development of effective solutions [7]. This study is a continuation of the studies with the authors participation, the main scientific and practical results of which are most fully described in [8, 9].

Objective and tasks

The purpose of the study –is substantiation of environmentally sound and resource-saving methods for backfilling of man-made voids in the course of underground ore mining on the basis of establishing patterns of manifestation of rock mass pressure to ensure stability of the day surface and vital activity of the population living in the mining-affected districts.

In the furtherance of this goal, it is necessary to complete the following tasks.

1. To analyze the factors of rock pressure manifestation in hard rock masses of complicated structure with high intensity of faults/fractures.

2. Identify the conditions for the formation of residual bearing capacity in disturbed rocks under triaxial compression.

3. Determine the conditions of stump blasting, reducing the fragmentation index while blasting a rock mass layer in a closed volume and increasing seismic effect of explosive vibrations.

4. Determine the parameters of seismic vibrations, the ore mass crushing quality and index of fragmentation of the “fragmented” material.

5. Develop environmentally sound and resource-saving backfilling methods for underground ore mining in disturbed rock masses of complicated structure.

Basic Provisions

Review of existing solutions to the problem.

Review of man-made voids shows that with increasing the depth of ore mining and the duration of stope (void) existence, the frequency of collapsing rocks in them increases. The review suggests importance of the formation of man-made voids, which affect the occurrence and redistribution of strain-stress state (SSS) of a rock mass. Their existence in the earth's crust provokes collapse (cave-in) of the day surface, as well as effect of geomechanical and seismic phenomena [10, 11].

Research Methods. In the course of the study, we used the methods of complex analysis and synthesis, practical experience and scientific achievements in the fields of:

- geotechnology;
- methods and facilities for backfilling of voids during underground mining of ores in disturbed rock masses;
- theories and practices of explosive rupture of solid media.

Using simulation methods based on equivalent and optically active materials, we studied:

- the effect of disturbance (broken condition) of a rock mass on the stability of mining workings, changing the factors of manifestation of rock pressure with increasing depth of mining;



– dependence of the strain-stress state of the disturbed rocks on the overall dimensions of the mine workings.

Methods of continuum mechanics, mathematical statistics, and methods of studying wave processes were also used [12, 13].

Study of stress and strain development mechanism in the zone affected by underground voids. In the practice of using the techniques and facilities for backfilling of voids during underground mining of ores in disturbed rock masses, the following approaches are the most widespread (Fig. 1).

Isolating voids by bulkheads without backfilling is used when extracting ore bodies of small and medium thickness, flank and blind ore bodies that do not affect underground facilities and the earth's surface [14, 15].

Filling voids by collapse of the enclosing rocks is the most common way that is connected with simplicity of the work organization, high degree of possible mechanization, and low cost. Its disadvantages include difficulties in controlling the void filling completeness and controlling the collapse process while decreasing thickness of ore bodies at depths of more than 500–600 m.

When developing deposits at great depths, the need to change to other methods of void filling arises. The method of void filling by collapse of the enclosing rocks is characterized by significant losses, and dilution and rupture of the rock mass up to the surface [16–18].

Backfilling by solidifying stowing (backfilling) mix provides better performance of subsoil use. Most of the voids is backfilled with mixes while simultaneously extracting, by open-cut and underground methods, thick steeply dipping ore bodies of deposits located in intensely disturbed

rocks of medium stability. This approach advantages include minimal costs, relatively small losses and dilution, controllability, integrity of the enclosing rock mass and the earth's surface. The method features include increased requirement for detailed knowledge about a rock mass and permanent geotechnical and seismic monitoring [19, 20]. Recently, in a backfill mix, cement is often replaced with crushed binders mixed with sand and gravel materials. Backfill strength varies widely depending on the purpose of the artificial rock masses. In a number of deposits, a solidifying backfilling mix is used because of the need to preserve the day surface due to environmental conditions and for improving health and safety in mining regions [21, 22].

Combined backfilling of voids when developing ore deposits by underground block leaching method (UBL, a kind of ISL – In-Situ Leaching) is used in developed mining countries (Fig. 2).

During two-stage ore mining, the abutment pressure is redistributed to the stopes of the second stage, and the load on the structures is determined by the mass of rocks inside the arising natural self-supporting rock arch. Disturbed rocks within the arch are being deformed, but can form rugged structure and not interfere with the leaching process [23, 24]. Promising geotechnologies enable winding rich ores to the day surface, whereas the rest of ores is processed in situ (Table 1).

UBL (ISL) development of ore deposits involves the creation of areas of different strength rocks in disturbed rock masses:

- the blocks are filled with ore material, which is mobile and prone to compaction;
- the blocks are characterized by water saturation and decreasing the rock strength;
- during leaching, mineral particles move.

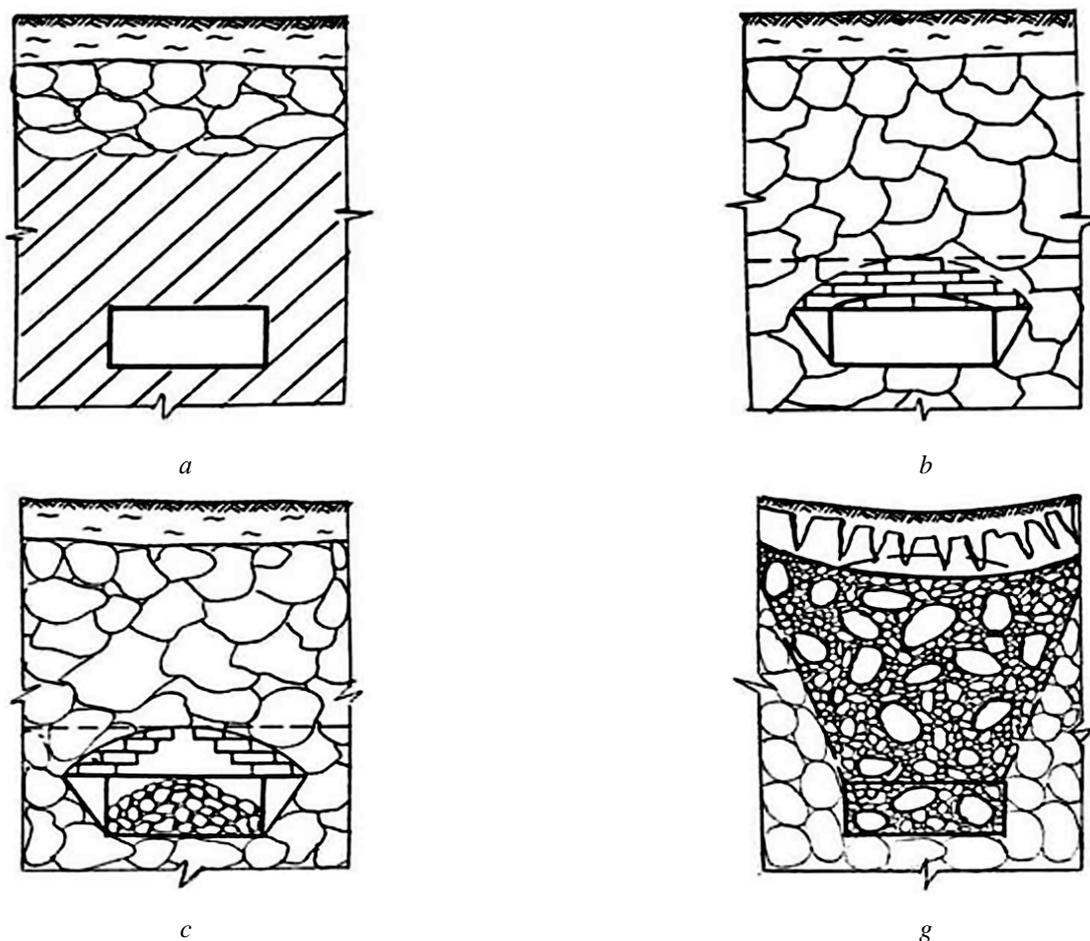


Fig. 1. The impact of voids on the earth's surface (schematics):

a – overlaying hard rock; *b* – flat roof at rock self-strengthening; *c* – rock collapse, not reaching the earth's surface; *g* – rock collapse involving the earth's surface

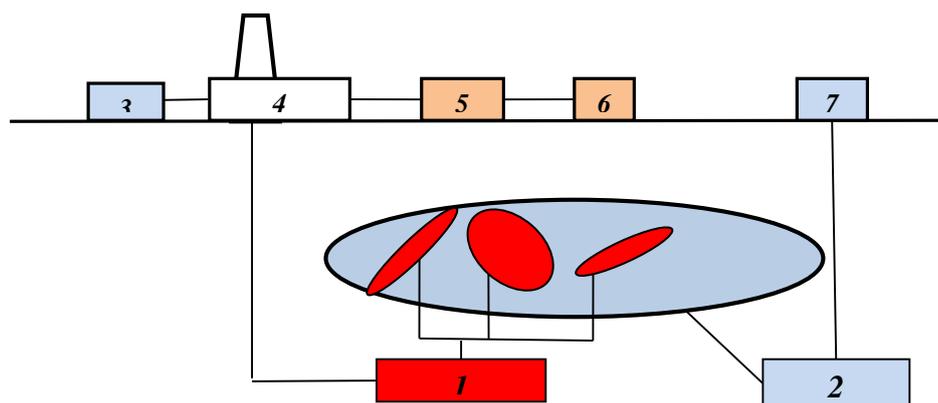


Fig. 2. Combined development of an ore deposit:

1, 2 – rich and poor ores, respectively; 3 – complex for heap leaching of poor and off-balance ores ((heterogeneities);
4, 5 – ore control and concentration plant (CCP) and processing plant (PP), respectively; 6 – stowing complex;
7 – shop for preparation of leaching solutions



Table 1

Typification of underground block leaching processes

Process	Process parameters	Process Conditions
Ore crushing	Providing grain size ranging +20 mm to -50 mm	Uniform ore density. The possibility of creating a compensation space for a blast
Ore spraying	Boreholes in an intact rock mass. Spraying from the ore surface. Applying casing for boreholes within broken ores. Applying fine-grained materials. Hydraulic fracturing	The lack of impervious zones and channels in the broken ore (muck)
Collection of pregnant solutions	Impervious curtains. Waterproofing of leaching areas. Electrovacuum drainage of solutions. Applying synthetic polymeric materials	Prevention of leaching product access to the environment
Process intensification	Physical methods: injection of compressed air, ore blasting, particle size reduction proportional to the concentration gradient, slabbing at variable line of least resistance of charges, control of the release ellipsoid, analysis of ultrasonic vibrations, electromagnetic treatment of solutions. Chemical methods: washing with water with activating additives, injection of chemical compounds. Biological methods: applying bacterial strains	Producing specified loosening. Increasing the content of useful component in pregnant solution to an acceptable value
Leaching completeness control	Downhole methods: rock drilling for introducing monitoring devices, drilling through broken ore with sampling. Roadheading with sampling	Representativeness of the samples and measurements for the whole block

Creation of such areas provokes increasing tensile stresses and loads on the elements of the natural-technogenic system [25, 26]. The balanced state of the ore-hosting rock mass is ensured if the UBL blocks are unloaded (to eliminate critical stresses) by artificial and natural rock masses.

The practice of preparing ore reserves for underground block leaching

Assessment of a blast seismic effect on underground and surface facilities. Recently, mining conditions have become more complicated due to increasing mining depth, extracting ore bodies under built-up areas, and the presence of protecting pillars in the immediate vicinity of the earth's surface. An indispensable requirement for mining operations under these conditions is, on the one hand, providing complete integrity of facilities and the earth's surface and, on the other

hand, ensuring the required performance. Mining safety largely depends on the nature and intensity of wave propagation effects during blasting, the state of the rock mass transmitting blasting shocks, and the behavior of different facilities when interacting with waves during blasting.

The main condition for maintaining a rock mass stability at periodic dynamic stresses is preservation of the medium volume, i.e. the magnitudes of stresses arising from blasting should not cause permanent deformations in the rock mass. Then, based on the conditions of keeping a rock mass integrity/stability, the values of relative deformations caused by a blasting, E_e , should not exceed the permissible levels, E_p , i.e.

$$E_e > E_p. \quad (1)$$

Relative deformations caused by blasting, taking into account the twofold factor of safety

(FoS) of a rock mass, are determined from the expression:

$$E_p = \frac{U_e}{2C_p}, \quad (2)$$

where U_e is the displacement velocity during blasting, cm/s; C_p is the P-wave (compressional) velocity in a rock mass, cm/s.

Therefore, to ensure the stability and integrity of a rock mass and the environment, the displacement velocity during blasting should not exceed the permissible level U_p , i.e. the following condition must be met:

$$U_p > U_e. \quad (3)$$

Permissible soil vibration velocities in the base of structures of different classes in different rocks are given in Table 2.

Table 2

Permissible vibration velocities for structures

Rock characterization	Protodyakonov rock hardness index, f	P-wave (compressional) velocity, km/s	Permissible soil vibration velocity, cm/s, for buildings of class			
			I	II	III	IV
Regolith, debris	0.5–1.0	1–2	4.1	8.2	12.2	20.4
Highly fractured rocks of high porosity with clay	1–3	2–3	6.8	13.6	20.3	34.0
Hard rock of significant natural fracturing	3–5	3–4	9.5	19.0	28.4	47.5
Relatively monolithic rocks with some fractures and voids	5–9	4–5	12.2	24.4	36.7	60.0
Monolithic rocks, low-fractured	9–14	5–6	14.9	29.8	44.6	74.5
Very hard rocks, monolithic, practically without fractures	14–20	6–7	17.8	35.6	53.3	89.0

As seen from the data of Table 2, subject to observance of the specified parameters, the surface integrity during underground blasting is ensured, and the buildings and structures built on the surface will not be ruptured, since the permissible displacement velocity (1–3 cm/s) for residential buildings is much lower than the permissible velocities for different rocks.

Assessment of the influence of geological conditions on the blasting seismic effect. Review of the historical site survey and geological data showed that topsoil (Q_4), loess-like loams ($I_3 Q_{2-3}$), sandy loams and loams (N_2-Q_1), and Buchak fine-grained sands ($f_2 B$) participate in the site sequence (from top to bottom). Total thickness of sedimentary rocks is 12–14 m. The sedimentary deposits everywhere overlay the eluvium

of the weathering crust (P_z-M_z) on the crystalline Proterozoic rocks (RR_1). The weathering crust is represented by argillous-clastic material: primary kaolin, silty/sandy medium gravel, sand-clay, depending on the crystalline rock composition.

According to data from monitoring boreholes drilled along the strike of the ore body, the lower boundary of the weathering crust between the axes 61–69 is at a depth of 20–24 m from the earth's surface. The basement crystalline rock in the studied areas until the depth of 60 m are represented by massive texture albitite of medium strength, highly cataclastic and fractured. The production blocks are located almost in the center of the depression funnel, extending longitudinally along the whole deposit. As a result of mining, the groundwater level here drops by 20–30 m below



the level of 210 m. The rocks are practically not flooded. The crystalline rocks of production blocks 5–84–86 and 5–88–90 are represented by gray medium-grained (with porphyry aggregates of feldspar crystals) biotite migmatite. There are remnants of silicified biotite gneiss. The rock is slightly fractured, compact, hard. Rare fractures are in layers with carbonate having hardness $f = 14–15$.

In terms of mining and geological conditions, the blocks are located between two tectonic faults. One of the fault is located to the south of the blocks at a distance of 25–30 m, and the second fault is located to the north of the blocks at a distance of 40 m. The width of the tectonic faults ranges from 5 to 10 m. The indicated tectonic faults can serve both as a zone of seismic vibration absorption during passing waves across the fault strike and as waveguides when seismic waves pass along the faults.

In terms of mining and technical conditions, both towards the protected facilities (houses of the village of Kizelgur, Ukraine) and towards the Ingul river, above blocks 5–84–86 and 5–88–90, mined-out and backfilled blocks are located, which, when blasting in the pilot block, will serve as a zone of absorption and reflection of the seismic waves. Each geological structure is characterized by common and local factors affecting seismic wave propagation. The common geological factors that can affect the intensity of blasting-induced seismic waves include loose sediments, tectonic faults (the latter can be considered as possible waveguides), and the rock dip angles. The seismic wave propagation velocity is determined by the degree of the rock mass fracturing.

When a seismic wave passes into the fracturing zones, its intensity may increase or decrease. Loose alluvial rocks are a kind of filter of

vibrations in a seismic wave, when the latter is refracted in them.

The vibration intensity depends entirely on the sediment thickness: the higher the thickness, the lower the seismic effect. In a rock mass that is not affected by mining and does not have faults, the seismic effect is enhanced. The seismic effect decreases by 1.5–2.0 times when seismic waves pass through the obstacle in the form of stope mined-out space, mined-out and backfilled blocks. The greatest effect on changing intensity of seismic vibrations is exerted by technological factors of a deposit development:

- in the back side of a blast, the rock mass disturbance velocity is 1.5 times higher than in the flank side, and 2 times higher than towards the front;

- blasting in a block at the underlying level after extracting the overlying blocks and their backfilling leads to 2-fold decrease in the displacement velocity within the seismic wave, and, at blasting of borehole rows when forming blasted slot, to the 1.5-fold decrease;

- passing the blast wave through the mined-out space decreases the vibration velocity by 2 times.

In the case at hand, when preparing production blocks 5–84–86 and 5–88–90 for underground leaching, blast waves will pass through the faults and the mined-out space, which reduce seismic vibrations by 2 times and decrease the seismic effect by 1.5–2.0 times, and through alluvial soils, which also reduce seismic vibrations in about 2 times. Assessing the conditions for extracting production blocks 5–84–86 and 5–88–90, it should be noted that physico-mechanical and hydrogeological properties of the rock mass, the presence of mined-out and backfilled blocks, faults and alluvial soils contribute to keeping the



integrity of the day surface and residential buildings in the village of Kizelgur, and are favorable for blasting in the blocks.

Estimation of the permissible weight of explosive charges per a delay. The concentration of blast wave energy in a layer rock mass with fan pattern of borehole charges is unevenly distributed, and the minimum load falls on the ends of the boreholes, whereas the maximum load, to central part of the rock mass (closer to the collars), that affects the crushing quality. Therefore, the wave rupturing processes caused by blasting produce complicated picture, especially in the near zone, not exceeding five radii of the being blasted layer from its center.

Outside of this zone, it is possible to determine dependences of changing the displacement velocities characterizing the disruptive effect of the fan-pattern charges in the being blasted ore layer (per a delay) on the charge spatial position in relation to the protected facility and the distance to it. Since the fan-pattern charges are areal with uneven distribution of energy concentration, its spatial position in relation to the protected facility, along with the distance to the protected facility, is rather important.

The stability of protected underground and surface facilities can be provided by the correct establishing and observation of regulatory restrictions, i.e. establishing permissible displacement velocities for each protected facility. A protected facility is protected from disruptive seismic effects of vibrations of the rock mass and soil of the day surface, provided that the actual displacement velocity caused by underground blasting remains below the permissible level, i.e. the following condition is met:

$$U_{\phi} \leq U_{\text{доп}} \quad (4)$$

Since the displacement velocity in the protected facility (within the rock mass in underground conditions or on the day surface) is determined by the distance between the charge center and the protected facility, the explosive weight per a delay and the medium through which seismic vibrations from underground commercial blasting pass, then, to substantiate parameters of safe charges in the conditions of Michurinsky deposit of SE VostGOK (Ukraine), pilot-plant studies were conducted. Ensuring the stability of protected facilities located in rock masses (various underground mine workings, stopes, shafts) and on the day surface is achieved by using the well-known formula of M.A. Sadovsky [21], improved by the authors, for estimating the rock mass displacement velocities:

$$U = K \frac{\sqrt[3]{Q^{2,08}}}{R^{2,08}}, \text{ cm/c}, \quad (5)$$

where U is the displacement velocity, cm/s; K is the proportionality coefficient characterizing the properties of the medium transmitting seismic vibrations and equal to 575 for the parallel arrangement of fan-pattern borehole charges in relation to the protected facility, and 145 for the end arrangement; Q is the weight of charge per a delay, kg; R is the distance from the center of the being blasted (by the fan-pattern borehole charges) layer to the protected facility, m.

Thus, depending on the position of the being blasted layer relative to the facility, the dependence is written as:

– at the parallel arrangement

$$U = 575 \frac{\sqrt[3]{Q^{2,08}}}{R^{2,08}}, \text{ cm/s};$$

– at the end arrangement $U = 145 \frac{\sqrt[3]{Q^{2,08}}}{R^{2,08}},$

cm/s.



It can be seen from these dependences that at the end arrangement, the energy decreases by 4 times that is used in estimating the permissible charges per a delay. When estimating the permissible charges per a delay when blasting balance reserves of Michurinsky deposit production blocks, it is recommended to take into account the spatial position of the being blasted ore layer in relation to the protected facility using the following formulas:

$$\text{– at the parallel arrangement } Q = R^3 \frac{\sqrt[3]{U^3}}{K_1^3}, \text{ kg,}$$

where $K_1=545$;

$$\text{– at the end arrangement } Q = R^3 \frac{\sqrt[3]{U^3}}{K_2^3}, \text{ kg,}$$

where $K_2=145$.

The maximum permissible charges (explosive amount) per a delay for blasting the reserves of production blocks 5–84–86 and 5–88–90 are given in Table 3.

Table 3

The maximum amount of explosives per blast by block

Number of blast/block	Level, m	Borehole fan number	Delay series, ms	Maximum amount of explosives per a delay, kg
1st blast	240-260	3	75	1771
2nd blast	225-240	1	25	2249
3rd blast	210-225	5+5a	150	2832
4th blast	210-263	1+1+1	50	5594
Block 5-84-86	225-210	8-8A	150	2777
Block 5-88-90	263-240	2	50	1969

The amounts of explosives per a delay during counter-blasting with fan-pattern borehole charges when estimating the displacement velocities of rock masses (underground facilities) and the displacement velocities of soils at the base of surface facilities are not summed up, since the direction of the seismic vibration fronts after the simultaneous blasting several layers in a rock mass is mutually opposite. The maximum amount of explosives per a delay in block 5–84–86 is lower than the estimated permissible amount of explosives for all protected facilities in the far zone, except for nearby underground facilities: Shaft 59, exploration drift in axes 59–71 (workings, stopes, substations) located at distances of 22 to 35 m from the blast position (should be restored if required). In block 5–88–90, the maximum amount of explosives per a delay is higher than the estimated permissible level for the following facilities: Ingul river bed, residential

buildings, east drift at level 210 m, underground electrical substation at level 210 m, Shaft 71 (92) at level 280 m.

Blasting of reserves of production block 5–84–86 based on the substantiated parameters of drilling and blasting operations provides improvement in the quality of crushing. The effect of fragmented medium due to stump blasting with the optimal ore mass fragmentation indices in the block is 1.30 on the average, and, for block 5–88–90, 1.25. The increased (expected) compression in the lower part of the mentioned block between levels 260 and 240 m after blasting all the reserves of the stope will produce favorable effect on the process of ore leaching and obtaining pregnant solution.

Thus, the combined control of geomechanical state of disturbed rock masses is used in mining of different-grade ores, for example, after extraction of rich ores, when lean ores are leached



in UBL blocks [28, 29]. Geomechanical stability of a rock mass is ensured by dividing it into the areas limited in terms of the condition the formation of rock natural self-supporting arch maintaining stable flat roof. Inside the isolated areas, different underground ore mining methods can be applied. Protection of the conjugate areas of the deposit from the blasting seismic effects is ensured, for example, by shielding. The stress level in a geomechanical system is regulated by engineering activities [26, 27]:

- inclination of the artificial rock mass on the ore mass reduces ore dilution by backfilling;
- protecting backfill rock mass at the border of an ore body represents a protective wall that enables extracting the bulk of reserves in favorable mining conditions;
- strengthening unstable rocks with roof bolts and steel ropes provides better ore recovery performance.

Thus, the rock mass management is carried out by combined filling, including solidifying backfill mixes and isolation, as well as technical and technological supporting the filling processes using environmentally sound and resource-saving methods [28, 29].

Analysis of research results and general recommendations

Based on the study of arising and redistribution of a rock mass stress-strain state using geophysical and surveying methods, an environmentally sound method for backfilling of man-made voids in mining-disturbed rock masses is proposed [30, 31]. It enables ensuring the stability of the day surface and life-sustaining activity of the population living in the mining-affected area (in the vicinity of mines, waste rock and off-balance low-grade ore dumps, sites of backfilling complexes, facilities for preconcentration and heap leaching of metals from substandard ores, tailings

storage facilities, etc.). The main negative consequences of the impact of mining on the environment and humans are high costs for conserving day surface and ensuring life-sustaining activity of the population living in the mining-affected area, as well as removing large areas of land from human activity, etc. Therefore, funds must be provided for the following activities [32, 33]:

- advanced processing of technogenic wastes (tailings), which demonstrate wide variety of mineral forms in comparison with ordinary ores;
- reclamation of industrial sites and adjacent territories after the mine closure;
- landscaping of the reclaimed territory with grass and shrub;
- permanent monitoring of the environment components in the zone affected by mining facilities activity.

For processing of the technogenic waste (tailings) it is necessary to develop new processes to be based on the latest achievements of mining science. The research aimed at reclaiming accumulated waste of mining and metallurgical production should be performed. Implementing effective methods for extraction of metals from the waste will improve environmental situation in the areas of their storage and provide additional volumes of extracted valuable components. Large-scale involvement of tailings in reclaiming, as well as processing of off-balance ore dumps at modular plants will contribute to obtaining an additional source of valuable components and decreasing environmental impact in countries with developed mining industry [32, 33].

It is also necessary to create protective forest belts along transport routes (automobile, railway, slurry pipelines, etc.). The territories where the maximum permissible concentration (MPC) of pollutants is exceeded, should be transferred

for sowing industrial crops; in polluted water bodies, swimming, fishing, etc. should be banned [34, 35]. To prevent transfer of dusty contaminated material outside mining facilities, sanitary protection zones and belts around them should be planted with tall tree species that will inhibit wind above these facilities. Such facilities include mines, waste rock and off-balance low-grade ore dumps, sites of backfilling complexes, facilities for preconcentration and heap leaching of metals from substandard ores, tailings storage facilities, etc.). In this case, the dust will be captured in these forest stands and will not enter other territories, including settlements [36, 37].

Conclusions

1. It is demonstrated that blasting stope reserves with a preset crushing quality to provide efficient leaching a useful component requires increasing the ore mass compression using stump blasting, where the fragmentation index should be in the range of 1.17–1.20. To achieve the desired quality of crushing, the blasted slot must be located in a block center for using counter blasting when breaking the nearest (to the slot) layers by blasting fan-pattern borehole charges.

2. It is demonstrated that to improve the quality of crushing by increasing the explosive

specific consumption for ore mass blasting up to 2.9–3.3 kg/m³, it is advisable to use blast-hole rings (at blasthole diameter of 85 mm), that allows reducing the blasthole length and their deviation from the preset direction between the levels. To achieve effective crushing quality in a block, stump blasting should be used when blasting of up to eight layers is performed from two sides towards each other, and, in this case, the fragmentation index should be in the range of 1.25–1.30.

3. It is proved that the use of counter blasting of the ore mass to a blasted slot allows increasing the amount of explosives per a delay by a factor of 2 due to decreasing the seismic effect of vibrations after simultaneously blasted two blasthole fans separated by loosened rock mass in the volume of the compensation space. In this case, two fronts of seismic vibrations with mutually opposite direction of movement are formed.

4. The method of blasting the balance reserves of block 5–88–90 based on the estimation of maximum explosive amount per a delay is recommended (using the data of measuring the velocities of soil displacement on the day surface at the base of the protected facilities during blasting operations in block 5–84–86, at the permissible rock mass displacement velocity up to 0.8 cm/s).

References

1. Borisov A. A. *Pressure on horizontal working support*. Moscow, Leningrad: Ugletekhizdat Publ.; 1948. 104 p. (In Russ.).
2. Vetrov S. V. *Permissible sizes of rock exposures during underground ore mining*. Moscow: Nauka Publ.; 1975. 223 p. (In Russ.).
3. Borisov A. A. *Rock Mechanics*. Moscow: Nedra Publ.; 1980, 359 p. (In Russ.).
4. Fisenko G. L. *Limit state of rocks around mine workings*. Moscow: Nedra Publ.; 1980, 359 p. (In Russ.).
5. 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.).
6. Avdeev O.K., Pukhalsky V.N., Razumov A.N. Ore reserves mining in the zone of protective pillars under a water body. *Gornyi zhurnal*. 1989;(9):28–30. (In Russ.).
7. *Instructions for safe conduct of mining operations at ore and non-metallic deposits prone to rockburst*. Leningrad: VNIMI Publ.; 1989. 58 p. (In Russ.).
8. Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Kisly P. A. Improving seismic safety of underground mining based on applying new explosive charges. *Ferrous metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economical Information*. 2019;75(8):912–922. (In Russ.). DOI: 10.32339/0135-5910-2019-8-912–922.
9. Shtelev V. I. *The testing bench for modeling geomechanical processes in rock mass*. Inventor's certificate No. 1682559 A1 (USSR); 1991. (In Russ.).

10. Nguyen Ngoc Minh, Pham Duc Thang. Tendencies of mining technology development in relation to deep mines. *Mining Science and Technology*. 2019;4(1):16-22. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-1-16-22.
11. *Mining and processing of uranium ores*. Chernov A. P. (gen. ed.) Kyiv: Adef-Ukraine Publ.; 2001. 238 p. (In Russ.).
12. Vysotskaya N. A., Piskun E. V. The main factors of adverse environmental impact of potash production and methods of environmental protection. *Mining Science and Technology*. 2019;4(3):172-180. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-3-172-180. (In Russ.).
13. Komashchenko V.I., Vasiliev P.V., Maslennikov S.A. Preparation of reliable resource base for underground development of KMA deposits. *Izvestija Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2016;(2):101–114. (In Russ.).
14. Dmitrak Yu.V., Kamnev E.N. JSC "Leading Design-and-Survey and Scientific Research Institute of Industrial Technology" – 65 years of development. *Gornyi zhurnal*. 2016;(3):6–12. (In Russ.).
15. Ping Y. J., Zhong C. W., Sen Y. D., Qiang Y. J. Numerical determination of strength and deformability of fractured rock mass by FEM modeling. *Computers and Geotechnics*. 2015;64:20–31.
16. Dold B., Weibel L. Biogeometallurgical pre-mining characterization of ore deposits: An approach to increase sustainability in the mining process. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(11):7777–7786.
17. Eremenko V.A., Lushnikov V.N. Methodology for selecting "dynamic" support for workings at deposits prone to rockburst. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(12):5–12. (In Russ.).
18. 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.
19. Goodarzi A., Oraee-Mirzamani N. Assessment of the Dynamic Loads Effect on Underground Mines Supports. In: *30th International Conference on Ground Control in Mining*; 2011. P. 74–79.
20. Sokolov I. V., Antipin Yu. G., Baranovsky K. V. Study of design and parameters of the combined system for developing an inclined quartz deposit. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo assets engineering*. 2017;328(10):85–94. (In Russ.).
21. Sadovsky M. A. *Geophysics and Explosion Physics*. Moscow: Nedra Publ.; 1997. 334 p. (In Russ.).
22. Smirnov S. M., Tatarnikov B. B., Aleksandrov A. N. Selecting method of stoping with backfilling of mine goaf depending on geodynamic conditions of ore mining area. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(11):45–51. (In Russ.).
23. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. *Effects of fracture geometry and Wittke W. Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM)*. Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn; 2014. 875 p.
24. Shabanimashcool M., Li C. C. Analytical approaches for studying the stability of laminated roof strata. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015;79:99–108.
25. Wang D. S., Chang J. P., Yin Z. M., Lu Y. G. Deformation and failure characteristics of high and steep slope and the impact of underground mining. In: *Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation: Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics*. USA; 2014. P. 451–457.
26. Iofis M.A., Fedorov E.V., Esina E.N., Miletenko N.A. Development of geomechanics for solving the problems of subsoil conservation. *Gornyi zhurnal*. 2017;(11):98–104. (In Russ.).
27. Khasheva Z. M., Golik V. I. The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus. *International Business Management*. 2015;9(6):1210–1216.
28. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(6):591–594.
29. Karaman K., Cihangir F., Kesimal A. A. comparative assessment of rock mass deformation modulus. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(5):735–740.
30. Golik V.I., Komashchenko V.I., Razorenov Yu. I. Activation of hardening mixture components at underground ore mining. *Izvestiâ Tul'skego gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2017;(3):113–123. (In Russ.).
31. Kaplunov D. R., Radchenko D. N. Design principles and selection of subsoil use technologies ensuring sustainable development of underground mines. *Gornyi zhurnal*. 2017;(11):121–125. (In Russ.).
32. Rudmin M. A., Mazurov A. K., Reva I. V., Stebletsov M. D. Prospects for integrated development of the Bakcharsky iron ore deposit (Western Siberia, Russia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo assets engineering*. 2018;329(10):87–99. (In Russ.).
33. Mukhametshin V. V., Andreev V. E. Improving evaluation of technologies aimed at optimizing use of resource base of deposits with hard-to-recover reserves. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo assets engineering*. 2018;329(8):30–26. (In Russ.).
34. Lyashenko V. I., Khomenko O. E. Enhancement of confined blasting of ore. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;11:59–72.

35. Lyashenko V., Topolnij F., Dyatchin V. Development of technologies and technical means for storage of waste processing of ore raw materials in the tailings dams. *Technology audit and production reserves*. 2019;49(3):33–40.

36. Lyashenko V., Khomenko O., Topolny F., Golik V. Development of natural underground ore mining technologies in energy distributed masses. *Technology audit and production reserves*. 2020;51(1):10–17.

37. Lyashenko V. I., Golik V. I., Dyatchin V. Z. Stockpiling of tailings in underground mined-out space and a tailing dump in the form of solidifying masses. *Obogashchenie Rud*. 2020;(1):41–47. (In Russ.). DOI: 10.17580/or.2020.01.08.

Библиографический список

1. Борисов А. А. *Давление на крепь горизонтальных выработок*. М., Л.: Углетехиздат; 1948. 104 с.
2. Ветров С. В. *Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд*. М.: Наука; 1975. 223 с.
3. Борисов А. А. *Механика горных пород*. М.: Недра; 1980. 359 с.
4. Фисенко Г. Л. *Предельное состояние горных пород вокруг выработок*. М.: Недра; 1980. 359 с.
5. Слепцов М. Н., Азимов Р. Ш., Мосинец В. Н. *Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов*. М.: Недра; 1986. 206 с.
6. Авдеев О. К., Пухальский В. Н., Разумов А. Н. Отработка запасов руды в зоне предохранительного целика под водоемом. *Горный журнал*. 1989;(9):28–30.
7. *Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях (объектах строительства подземных сооружений), склонных к горным ударам*. Л.: ВНИМИ; 1989. 58 с.
8. Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Кислый П. А. Повышение сейсмической безопасности подземной разработки скальных месторождений на основе применения новых зарядов взрывчатых веществ. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2019;75(8):912–922. DOI: 10.32339/0135-5910-2019-8-912–922.
9. Штеле В. И. *Стенд для моделирования геомеханических процессов в толще горных пород*. Авторское свидетельство 1682559 А1 (СССР); 1991.
10. Nguyen Ngoc Minh, Pham Duc Thang. Tendencies of mining technology development in relation to deep mines. *Mining Science and Technology*. 2019;4(1):16–22. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-1-16-22.
11. *Добыча и переработка урановых руд*. Под общ. ред. А. П. Чернова. Киев: Адеф-Украина; 2001. 238 с.
12. Высоцкая Н. А., Пискун Е. В. Основные факторы неблагоприятного воздействия на окружающую среду деятельности калийного производства и способы ее защиты. *Горные науки и технологии*. 2019;4(3):172–180. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-3-172-180.
13. Комащенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2016;(2):101–114.
14. 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.
15. Ping Y. J., Zhong C. W., Sen Y. D., Qiang Y. J. Numerical determination of strength and deformability of fractured rock mass by FEM modeling. *Computers and Geotechnics*. 2015;64:20–31.
16. Dold B., Weibel L. Biogeometallurgical pre-mining characterization of ore deposits: An approach to increase sustainability in the mining process. *Environmental Science and Pollution Research*. 2013;20(11):7777–7786.
17. Еременко В. А., Лушников В. Н. Методика выбора «динамической» крепи выработок для месторождений склонных и опасных по горным ударам. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(12):5–12.
18. 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.
19. Goodarzi A., Oraee-Mirzamani N. Assessment of the Dynamic Loads Effect on Underground Mines Supports. In: *30th International Conference on Ground Control in Mining*; 2011. P. 74–79.
20. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Барановский К. В. Исследование конструкции и параметров комбинированной системы разработки наклонного месторождения кварца. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017;328(10):85–94.
21. Садовский М. А. *Геофизика и физика взрыва*. М.: Недра; 1997. 334 с.
22. Смирнов С. М., Татарников Б. Б., Александров А. Н. Влияние геодинимических условий отработки рудного участка на технологию очистных работ с закладкой выработанного пространства. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(11):45–51.



23. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. *Effects of fracture geometry and Wittke W. Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM)*. Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn; 2014. 875 p.
24. Shabanimashcool M., Li C. C. Analytical approaches for studying the stability of laminated roof strata. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2015;79:99–108.
25. Wang D. S., Chang J. P., Yin Z. M., Lu Y. G. Deformation and failure characteristics of high and steep slope and the impact of underground mining. In: *Transit Development in Rock Mechanics-Recognition, Thinking and Innovation: Proceedings of the 3rd ISRM Young Scholars Symposium on Rock Mechanics*. USA; 2014. P. 451–457.
26. Иофис М. А., Федоров Е. В., Есина Е. Н., Милетенко Н. А. Развитие геомеханики для решения проблем сохранения земных недр. *Горный журнал*. 2017;(11):98–104.
27. Khasheva Z. M., Golik V. I. The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus. *International Business Management*. 2015;9(6):1210–1216.
28. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015;7(6):591–594.
29. Karaman K., Cihangir F., Kesimal A. A. comparative assessment of rock mass deformation modulus. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(5):735–740.
30. Голик В. И., Комашченко В. И., Разоренов Ю. И. Активация компонентов твердеющих смесей при подземной добыче руд. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2017;(3):113–123.
31. Каплунов Д. Р., Радченко Д. Н. Принципы проектирования и выбор технологий освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников. *Горный журнал*. 2017;(11):121–125.
32. Рудмин М. А., Мазуров А. К., Рева И. В., Стеблецов М. Д. Перспективы комплексного освоения Бакчарского железорудного месторождения (Западная Сибирь, Россия). *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018;329(10):87–99.
33. Мухаметшин В. В., Андреев В. Е. Повышение эффективности оценки результативности технологий, направленных на расширение использования ресурсной базы месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018;329(8):30–26.
34. Lyashenko V. I., Khomenko O. E. Enhancement of confined blasting of ore. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;11:59–72.
35. Lyashenko V., Topolnij F., Dyatchin V. Development of technologies and technical means for storage of waste processing of ore raw materials in the tailings dams. *Technology audit and production reserves*. 2019;49(3):33–40.
36. Lyashenko V., Khomenko O., Topolny F., Golik V. Development of natural underground ore mining technologies in energy distributed massages. *Technology audit and production reserves*. 2020;51(1):10–17.
37. Ляшенко В. И., Голик В. И., Дятчин В. З. Складирования хвостов в подземное выработанное пространство и хвостохранилище в виде твердеющих масс. *Обогащение руд*. 2020;(1):41–47. DOI: 10.17580/or.2020.01.08.

ORIGINAL PAPERS / ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130

Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения

Азев В. А.¹, Попов Д. В.²¹ООО «СУЭК-Хакасия», г. Черногорск, респ. Хакасия, Россия;²ООО «Восточно-Бейский разрез», с. Кирба, респ. Хакасия, Россия

Аннотация: Глобализация мирового рынка энергетического сырья привела к тому, что в последние десятилетия существенно возросла динамика изменений параметров рынка энергетического угля. Истощение «богатых» месторождений полезных ископаемых предполагает освоение новых месторождений, имеющих более сложную структуру и характеристики. В статье предлагается новый подход к управлению качеством товарной продукции при отработке сложноструктурного угольного месторождения, показавший свою эффективность в условиях Бейского месторождения. В основе подхода к управлению качеством товарной продукции лежит идея о релевантности повышения качества технологических процессов и их дифференциации по критерию максимального соотношения ценности и себестоимости продукции. Предложены типовые решения и результаты реализации разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции на примере Восточно-Бейского угольного разреза. Применены методы анализа технологических факторов, влияющих на выбор параметров технологических операций, и обоснование процессов при подготовке блоков, экскавации, транспортировании, складировании и переработке продукции при открытом способе отработки сложноструктурного месторождения каменного угля. Реализация разработанных технологических решений в условиях Восточно-Бейского каменноугольного разреза позволила получить положительные результаты, выражающиеся в росте качественных показателей товарной продукции на 4–6 %.

Ключевые слова: качество продукции, управление качеством товарной продукции, сложноструктурное угольное месторождение, качество технологических процессов, ценность продукции, себестоимость продукции.

Для цитирования: Азев В. А., Попов Д. В. Управление качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):119-130. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.

Marketable Product Quality Management in Conditions of Coal Mining at a Deposit of Complicated Structure

V. A. Azev¹, D. V. Popov²¹LLC SUEK-Khakassia, Chernogorsk, Khakassia, Russia;²LLC Vostochno-Beisky Razrez (East Bei Colliery), Kirba, Khakassia, Russia

Abstract: Globalization of the energy feedstock market has led to the fact that, in recent decades, parameters of the thermal coal market significantly changed. Depletion of “rich” deposits implies development of new deposits of more complicated structure and characteristics. The paper proposes a new approach to managing quality of marketable products in the course of development of a coal deposit of complicated structure, which has demonstrated its effectiveness in the conditions of the Beisky deposit. The approach to managing quality of the marketable products is based on the concept of the relevance of improving the quality of technological processes and their differentiation according to the criterion of the maximum ratio of value and cost of the products. Typical solutions are proposed, and the results of implementation of the developed methodological approach to managing quality of the marketable products as exemplified by the Vostochno-Beisky open-pit coal mine are presented. Methods of analysis of technological factors governing the selection of parameters of the process operations were used, and the substantiation of the processes for preparation of blocks, excavation, transportation, storage and processing of products in conditions of open pit mining of a coal deposit having complicated structure was performed. The implementation of the developed technological solutions in



the conditions of the Vostochno-Beisky open-pit coal mine allowed to obtain positive results, expressed in the growth of quality indicators of the marketable products by 4–6 %.

Keywords: product quality, product quality management, coal deposit of complicated structure, quality of technological processes, product value, product cost.

For citation: Azev V. A., Popov D. V. Marketable product quality management in conditions of coal mining at a deposit of complicated structure. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):119-130. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-119-130.

Актуальность

Истощение «богатых» месторождений полезных ископаемых предполагает освоение новых месторождений, имеющих более сложную структуру и характеристики. Так, например, в угольной отрасли России доля продукции, произведенной на сложноструктурных месторождениях, расположенных в таких регионах, как Республика Хакасия (Бейский угольный кластер – Восточно-Бейский, Кирбинский, Майрыхский разрезы и т.д.) и Республика Бурятия (Никольский разрез) к 2030 г. вырастет в 3 раза и составит 11,7 %.

Глобализация мирового рынка энергетического сырья привела к тому, что в последние десятилетия существенно возросла динамика изменения параметров рынка энергетического угля. Очередное падение цен на угольную продукцию для энергетики началось в 2019 г., оно обусловлено главным образом отказом стран Западной Европы от «грязных» видов топлива. В течение одного календарного года цены на стандартную угольную продукцию снизились в 1,5-2,0 раза. Кризис обострил системные несоответствия, характерные для угольных разрезов России, обрабатывающих сложноструктурные месторождения. Традиционные проектные технические и технологические решения ориентированы на стабильный спрос продукции и ориентированы на достаточно постоянные значения основных параметров горнотехнической системы разреза. В настоящее время для обеспечения жизнеспособности горного предприятия, необходимо выдерживать падение спроса на угольную продукцию, которое достигает 20–30 % на протяжении года, при росте стоимости материально-технических, энергетических ресурсов, тарифов перевозчиков на 5–15 %.

Одновременно рынок ужесточает требования к качеству угольной продукции, ориен-

тированной на энергетическую отрасль: средняя зольность отгружаемого угля в России в 1991 г. составляла 18,2 %, в 2018 – 13 %.

Управление качеством угольной продукции предполагает выбор, подготовку и реализацию решений по повышению соотношения ценности и себестоимости, что несет в себе риски потери устойчивости предприятия. Поэтому задача разработки методического подхода для управления качеством товарной продукции угольного разреза в условиях обработки сложноструктурного месторождения обретает особую актуальность.

Целью работы является обоснование и разработка методического подхода для управления качеством товарной продукции предприятия с открытым способом добычи в условиях обработки сложноструктурного месторождения каменного угля.

Глоссарий

Сложноструктурное угольное месторождение – месторождение, имеющее несколько угольных пластов и пропластков с различной мощностью и с существенными отличиями качественных характеристик полезного ископаемого. Сложноструктурное месторождение характеризуется неравномерной и сильной изменчивостью качественных характеристик полезного ископаемого, а также его сложной морфологией. Типичным представителем таких месторождений является Бейское каменноугольное месторождение, расположенное в Республике Хакасия.

Качество товарной продукции – совокупность свойств получаемой на предприятии продукции, определяющих степень ее пригодности для использования по назначению.

Ценность продукции – важность, значимость свойств товара или услуги для потребителя с позиции удовлетворения его потребности. Традиционно в угольной отрасли применяются следующие критерии оценки ценности



продукции: зольность, теплотворная способность, содержание примесей.

Себестоимость продукции – совокупность издержек предприятия на производство и реализацию продукции.

Управление качеством товарной продукции – деятельность персонала предприятия, нацеленная на обеспечение наилучшего соотношения средневзвешенной ценности и себестоимости продукции на основе корректировок и реализации функций планирования и контроля качества, коммуникации (информации), разработки мероприятий и реализации соответствующих технологических и организационных решений.

Качество технологического процесса – устойчивая совокупность параметров технологических операций, обеспечивающих наилучшее соотношение средневзвешенной ценности и себестоимости продукции предприятия в изменяющихся условиях.

Краткий обзор исследований в области управления технологическими параметрами и проектирования открытой разработки угольных месторождений

В основе существующих методик выбора и управления технологическими параметрами открытой угледобычи лежат фундаментальные принципы, сформулированные В. В. Ржевским, А. И. Арсентьевым, В. С. Хохряковым [1–3].

Теория проектирования горных предприятий с применением аналитических методов сформирована в трудах Н. В. Мельникова, К. Н. Трубецкого, Д. Р. Каплунова, С. Е. Гавришева, [4–7].

Значительная часть исследователей внесли существенный вклад в решение сложных проблем не только проектирования горных предприятий, но и поиска комплексных технологических решений при реализации разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Существенный вклад в решение проблем, возникающих по мере развития теории проектирования освоения недр в области открытых горных работ, внесли исследования С. Ж. Галиева, L. L. Coleman, К. Р. Katen, В. Л. Яковлева, В. А. Галкина, В. В. Истомина, А. В. Соколовский, Е. Ф. Шешко, W. W. Kaufman, А. М. Newman [8–18]. Достаточно

интересные подходы в решении технологических проблем, в том числе с применением селективной отработки, управления качеством посредством смешивания продукции, решения оптимизационных задач реализации технологии и процессов добычи полезных ископаемых на открытых горных работах можно наблюдать в работах ученых США, Чили, Канады, Австралии и других стран [12–29].

Для достижения цели исследования в статье были использованы теоретические и методические положения повышения качества и ценности продукции угольного разреза, сформулированные в работах М. И. Щадова, В. Б. Артемьева, В. С. Коваленко, Виницким Л. С., Виницким К. Е., Куржей С. П., Шаль Р. Р., [30–36].

Благодаря усилиям исследователей и практиков создана научно-методическая база по определению производительности и границ карьеров, регулированию режима горных работ, разработаны способы ведения горных работ в различных горно-геологических условиях, которые достаточно широко отражают вопрос повышения эффективности производства и качества продукции на угольных разрезах. Отработка сложноструктурных месторождений имеет свои технологические особенности, а это означает, что сложившиеся методы управления качеством продукции нуждаются в уточнении, а применяемые на предприятиях приемы и технологии ведения горных работ – в изучении, обобщении и систематизации, в условиях изменчивости внешней среды.

Основное содержание

Идея подхода – обеспечение требуемого уровня качества товарной продукции угледобывающего предприятия в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного – угля достигается повышением качества технологических процессов и их дифференциацией по критерию максимального соотношения ценности и себестоимости продукции.

Схема разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции предприятия в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного угля, представленная на рис. 1.

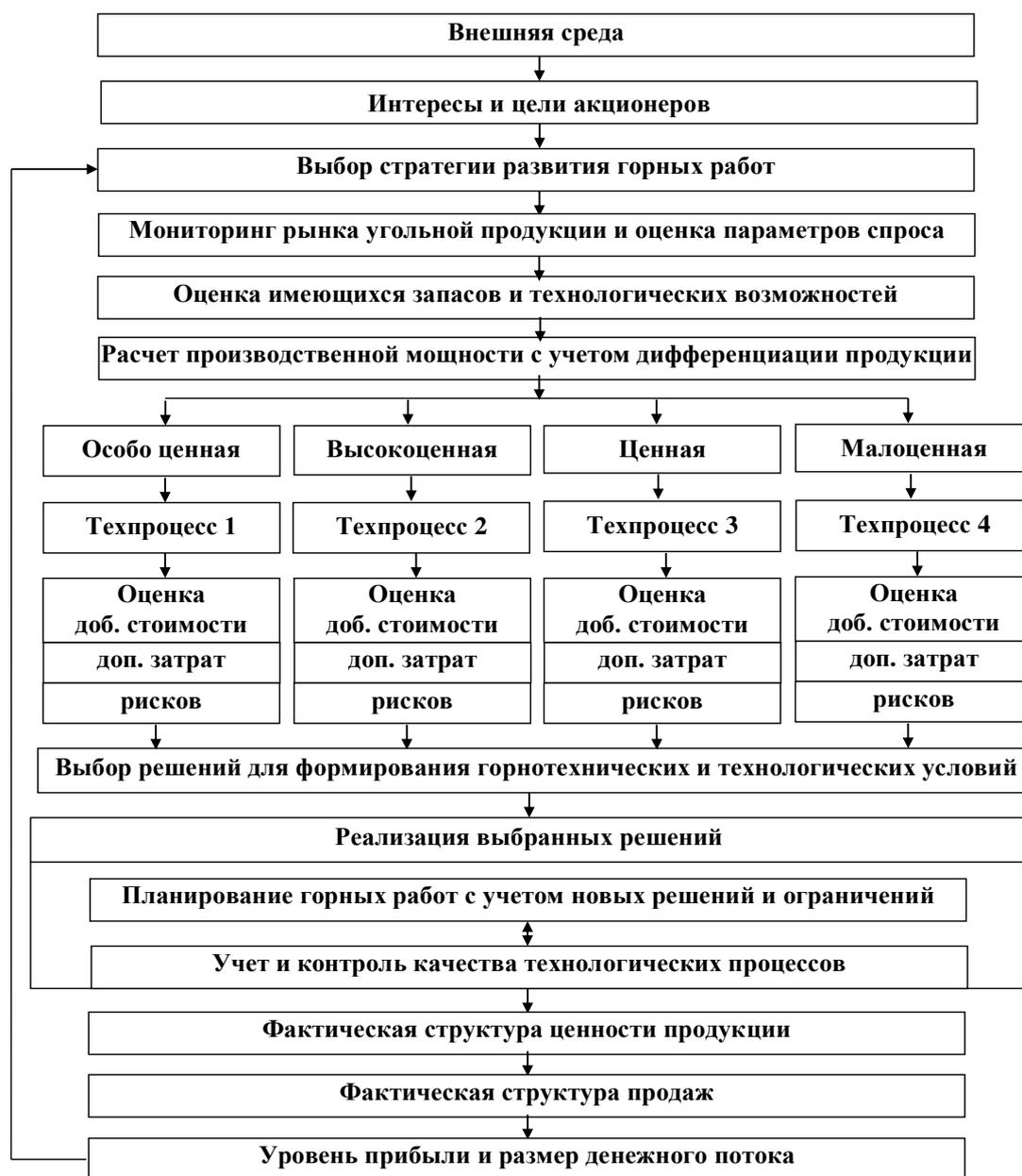


Рис. 1. Схема методического подхода к управлению качеством товарной продукции в условиях отработки сложноструктурного угольного месторождения

Fig. 1. Diagram of the methodological approach to managing quality of the marketable products in the conditions of open pit mining of coal deposit having complicated structure

Отличительной особенностью подхода являются:

- расчет производственной мощности предприятия с учетом дифференциации ценности продукции по следующим категориям: особо ценная; высокоценная; ценная; малоценная. Распределение продукции по ценности зависит от особенностей месторождения и полезного ископаемого. Например, для условия Бейского месторождения к особо ценной следует

относить угольную продукцию с теплотой сгорания более 5800 ккал/кг; к высокоценной – 5550–5800 ккал/кг; к ценной 5400–5550; к малоценной – менее 5400 ккал/кг;

- формирование соответствующих каждой категории ценности продукции параметров технологических процессов, включая подготовку, экскавацию, транспортирование, складирование и переработку;



– учет экономической целесообразности освоения нового технологического процесса на основе расчета разности между добавленной стоимостью, полученной в результате повышения качества продукции, и дополнительными затратами на реализацию мероприятий по повышению качества;

– учет возможных ограничений производительности горнотранспортного оборудования для реализации мероприятий по повышению качества;

– соблюдение высокого качества технологических процессов путем учета, мониторинга и регулирования.

В результате проведенных в 2014–2019 гг. исследований выявлены наиболее существенные технологические факторы, влияющие на выбор и регулирование параметров технологических процессов и технологических решений при подготовке, экскавации, транспортировании, складировании и переработке продукции предприятия открытого способа добычи в условиях отработки сложноструктурного месторождения каменного угля, которые представлены в табл. 1.

Для оценки рациональности применения новых технологических решений, направленных на повышение качества продукции, разработана экономико-математическая модель, представленная ниже:

$$\frac{V_{ev} Pr_{ev} + V_{hv} Pr_{hv} + V_v Pr_v + V_{lv} Pr_{lv}}{Ex_a + (Ex_{ev} + Ex_{lv} + Ex_v + Ex_{lv})} > \frac{V_{cp} Pr_{cp}}{Ex_d}$$

где V_{ev} , V_{hv} , V_v , V_{lv} – объемы продукции по категориям «особо ценная – especially value», «высокоценная – high value», «ценная – value», «малоценная – low value» соответственно, тыс. т; Pr_{ev} , Pr_{hv} , Pr_v , Pr_{lv} – цена (price) продукции по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная», «малоценная» соответственно, руб./т; V_{cp} – объемы продукции до реализации решений по повышению качества угля, тыс. т; Pr_{cp} – цена товарной продукции (средняя – average) до реализации решений по повышению качества

угля, руб./т; Ex_a – себестоимость (cost price) товарной продукции (средняя – average) до реализации решений по повышению качества угля; Ex_{ev} , Ex_{hv} , Ex_v , Ex_{lv} – дополнительные затраты (expenses) на реализацию технологических решений по повышению качества угля по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная» и снижение цены в категории «малоценная» относительно средней до реализации мероприятий, руб./т; Ex_d – дополнительные затраты на реализацию технологических решений по повышению качества угля по категориям «особо ценная», «высокоценная», «ценная» и снижение цены в категории «малоценная» относительно средней до реализации мероприятий, руб./т.

Проведенное с помощью разработанной модели экономико-математическое моделирование позволило определить наиболее рациональные технологические решения для повышения качества угольной продукции в каждом процессе и опробовать их в технологии добычи угля на Восточно-Бейском угольном разрезе.

Основные этапы отработки сложноструктурного угольного месторождения открытым способом

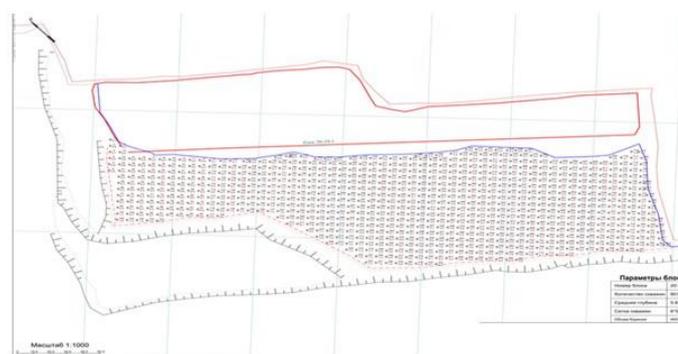
Подготовка угля к выемке. В результате проведения ряда экспериментальных взрывов были установлены рациональные сетка скважин (рис. 2, а) и конструкция заряда (рис. 2, б) для оптимального дробления угольного пласта по крупности куска с наименьшим перемешиванием породных прослоев для дальнейшей селективной выемки полезного ископаемого. После проведения взрывных работ проводится геологоразведка с использованием экскаватора РС-300. В результате геологоразведки корректируются геологические разрезы со структурной колонкой на протяжении всего участка отработываемого угольного пласта, в которых указывается мощность породных прослоев, глубина их залегания и протяженность.

**Связь факторов, параметров технологических процессов и ценности продукции
(Бейское каменноугольное месторождение)**

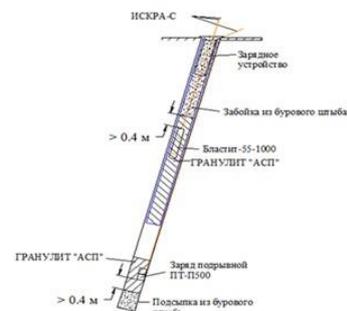
The relationship of factors, parameters of technological processes, and the product value (Beisky coal deposit)

Процесс	Технологический фактор	Технологические параметры и решения для достижения ценности продукции			
		Особо ценная	Высокоценная	Ценная	Малоценная
Подготовка	Крупность куска – сетка скважин	Сетка скважин 4×4 до 6×6		Сетка скважин 3×3 до 6×6	
	Засорение – конструкция заряда	Рассредоточенный с учетом технологии Blast Maker	Рассредоточенный с подсыпкой 0,5 м	С подсыпкой 0,2–0,4 м	С подсыпкой менее 0,2 м
Эксплуатация	Засорение – селективная выемка	Селективная по блоку и слоям	Селективная по слоям	Валовая	
	Точность селекции – емкость ковша экскаватора	Минимально возможная		Средняя	Максимальная
	Крупность куска – емкость ковша экскаватора	Максимально возможная		Средняя	Минимальная
Транспортирование	Крупность куска – емкость кузова автосамосвала	Максимально возможная		Средняя	Минимальная
Складирование	Засорение – количество штабелей	8	5	4	3
	Гибкость – объем штабелей	Максимальный технологически возможный		Средний	Минимальный
Переработка и отгрузка	Засорение – способ обогащения	Глубокое	Породовыборка	Отсутствует	
	Измельчение – количество пересыпов	Минимально возможное		Максимальное	

а) сетка бурения



б) конструкция заряда



в) геологоразведка с использованием экскаватора PC-300

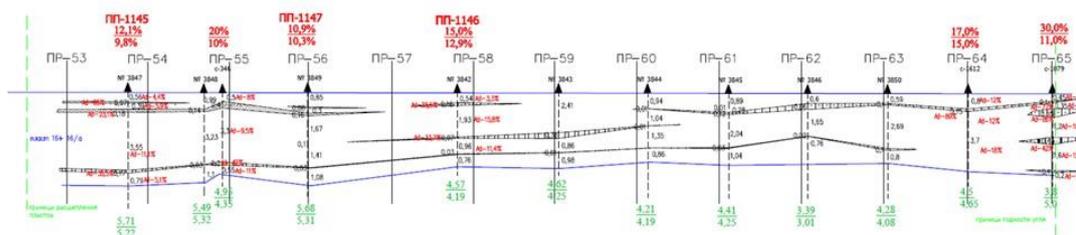


Рис. 2. Примеры технологических решений в процессе подготовки угля к выемке

Fig. 2. Examples of technological solutions in the process of preparing coal for extraction

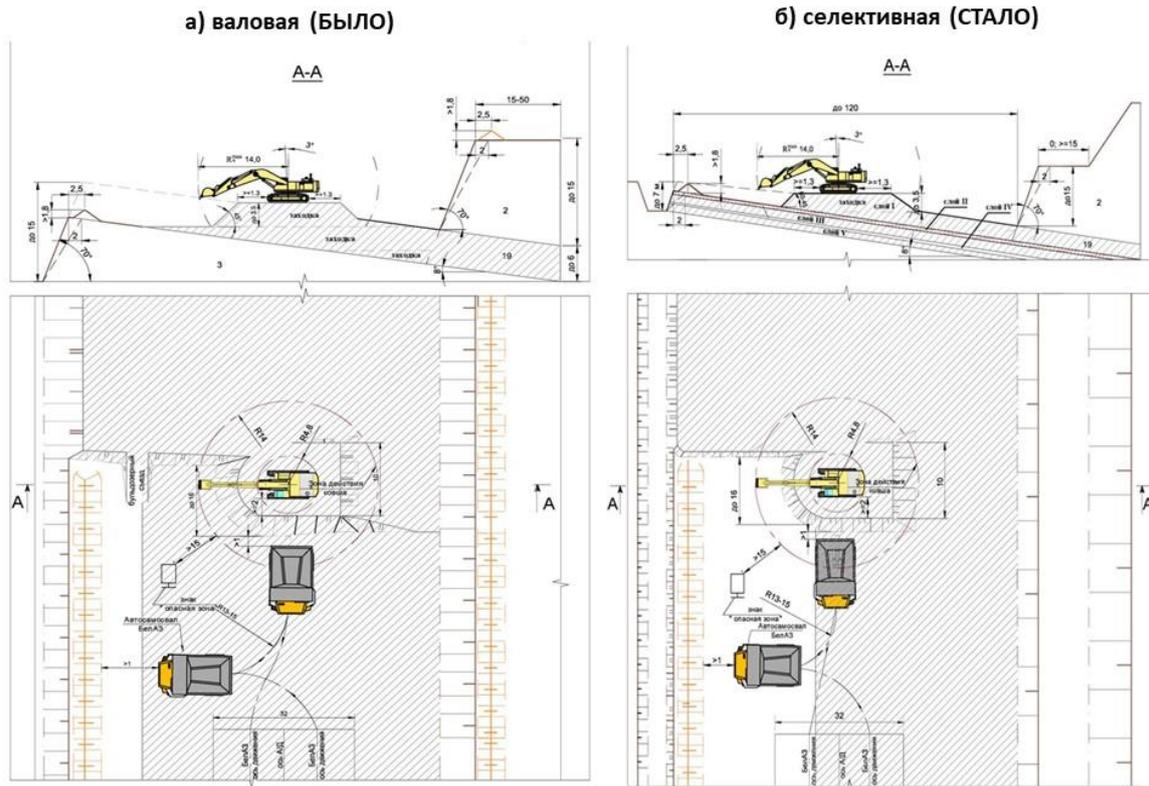


Рис. 3. Примеры технологических решений в процессе экскавации (выемки) угля
Fig. 3. Examples of technological solutions in the process of excavation (extraction) of coal



Рис. 4. Примеры технологических решений в процессе складирования угля
Fig. 4. Examples of process solutions in coal stockpiling

Выемка угля. После составления геологических разрезов разрабатывается проект селективной выемки угля (рис. 3), описывающий технологические параметры и порядок послойной выемки угля или породы. Проект разрабатывается индивидуально на каждый обрабатываемый участок (блок) угольного пласта.

Складирование угля. Повышение эффективности управления качеством в подпроцессе складирования заключается в его зонировании по теплотворной способности и включает увеличение емкости склада и количества штабелей (рис. 4).

Методика оценки качества технологического процесса

Предлагается методика оценки качества технологического процесса на предприятиях открытого способа добычи в условиях обработки сложноструктурного месторождения каменного угля, отличающаяся тем, что расчет, учет и мониторинг значений коэффициента качества технологических процессов угледобывающего предприятия (KPQ) производятся на основе оценки состояния рабочих мест и процессов по следующим формулам:

$KPQ = K_1 \cdot K_p + K_2 \cdot K_e + K_3 \cdot K_t + K_4 \cdot K_w + K_5 \cdot K_r + K_6 \cdot K_s$,
где $K_1, K_2, K_3 \dots K_6$ – весовые коэффициенты процессов подготовки (preparation), экскавации (excavation), транспортировки (transportation), складирования (warehousing) горной массы, переработки (recast) и отгрузки (shipment) продукции соответственно; $K_p, K_e, K_t \dots K_s$ – коэффициенты качества процессов подготовки, экскавации, транспортировки, складирования горной массы, переработки и отгрузки продукции соответственно, рассчитываются по формуле:

$$PQ = N_{rat}/N_{total},$$

где N_{rat} – фактическое соблюдение рациональных технологических параметров; N_{total} – общее количество технологических параметров по стандарту процесса.

Использование разработанной методики позволяет выбрать характер воздей-

ствия на технологический процесс и меры регулирования в зависимости от полученного диапазона значений коэффициента качества технологического процесса:

– 0,00–0,50 – низкое качество технологического процесса, высокая интенсивность внешних воздействий, например нахождение в угольном забое мастера участка технического контроля, почасовой отчет горного мастера о состоянии и параметрах угольного забоя;

– 0,50–0,75 – среднее качество технологического процесса и интенсивность внешних воздействий, например разработка и реализация еженедельных и ежемесячных планов принятия дополнительных мер по повышению качества угольной продукции;

– 0,75–1,00 – высокое качество технологического процесса, низкая интенсивность внешних воздействий, направленная на поддержание и развитие полученных результатов, например обучение персонала прогрессивным методам работы.

Использование предложенного показателя оценки качества технологического процесса и его сравнение с качеством товарной продукции – соотношением ценности и себестоимости на примере работы ООО «Восточно-Бейский угольный разрез» за период январь–октябрь 2019 г. показало высокую тесноту их связи, выраженную коэффициентом детерминации, что представлено на рис. 5.

Применение разработанного методического подхода к управлению качеством товарной продукции на предприятиях открытого способа добычи, обрабатывающих сложноструктурное месторождение каменного угля, создает возможность повышения экономической эффективности их деятельности и, как следствие, конкурентоспособности. В условиях разреза Восточно-Бейский ежегодный экономический эффект от реализации разработанного методического подхода составляет около 200 млн руб.



Соотношение ценности и себестоимости продукции, отн. ед.

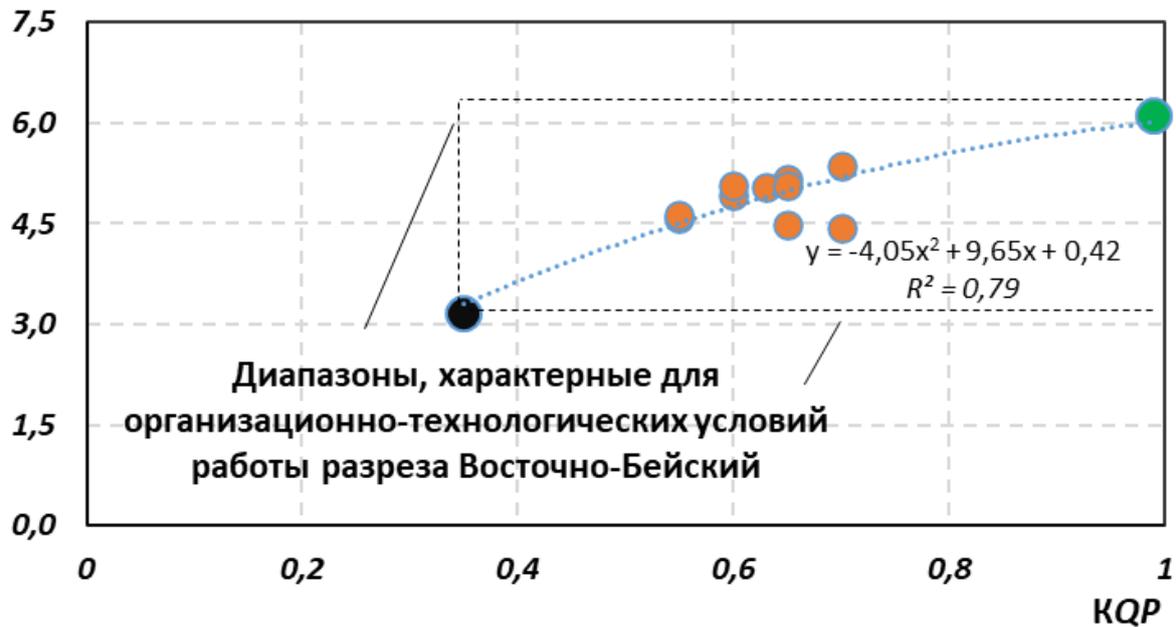


Рис. 5. Взаимосвязь качества угольной продукции и качества технологического процесса (ООО «Восточно-Бейский разрез», факт 10 месяцев 2019 г.)

Fig. 5. The relationship between the quality of coal products and the work process quality (Vostochno-Beisky Razrez LLC (East Bei open-pit coal mine), the factual data for 10 months of 2019)

Выводы

Разработанный методический подход управления качеством товарной продукции, в основе которого лежит идея дифференциации производимой продукции по категориям ценности, экономически обоснованный выбор рациональных параметров технологических процессов и освоение этих параметров позво-

ляют существенно повысить конкурентоспособность предприятий открытого способа добычи, обрабатывающих сложноструктурные месторождения каменного угля, путем повышения ценности продукции без использования обогатительной фабрики и снижения затрат при подготовке запасов, выемке, транспортировании, складировании и отгрузке продукции.

Библиографический список

1. Арсентьев А. И., Холодняков Г. А. *Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений*. М.: Недра; 1994. 336 с.
2. Ржевский В. В. *Открытые горные работы*. М.; 1985. 512 с.
3. Хохряков В.С. *Открытая разработка месторождений полезных ископаемых*. М.: Недра; 1982. 280 с.
4. Мельников Н.В. *Открытая разработка месторождений*. Избр. труды. М.: Наука; 1985. 280 с.
5. Трубецкой К. Н., Потапов М. Г., Винницкий К. Е. и др. *Открытые горные работы*. Справочник. М.: Горное бюро; 1994. 590 с.
6. Каплунов Д. Р. *Комплексное освоение рудных месторождений: проектирование и технология подземной разработки*. М.: ИПКОН РАН; 1998. 383 с.
7. Гавришев С. Е. *Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьера*. Магнитогорск: МГТУ; 2002. 217 с.
8. Rossi M. E., Deutsch C. V. *Mineral resource estimation*. Springer, Dordrecht; 2014. P. 1–332. DOI: 10.1007/978-1-4020-5717-5.
9. Goovaerts P. Geostatistics for natural resources evaluation. *Technometrics*. Oxford University Press. 1997:42.
10. Галиев С. Ж. *Оптимизация параметров горнотранспортных систем карьеров на основе имитационного моделирования*. Дис. ... д-ра техн. наук. Алматы; 1997. 391 с.



11. Trubetskoy K. N., Zharikov I. F., Shenderov A. I. Improvement of cyclical-and-continuous system design in open pit mines. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(1):21–25.
12. Topp V., Soames L., Parham D., & Bloch H. *Productivity in the mining industry: Measurement and interpretation*. Productivity Commission, Government of Australia, Staff Working Papers; 2008.
13. White B., Seib, W., Isokangas T. Mine planning. In: R. J. Kininmonth, E. Y. Baafi (eds.). *Australasian Coal Mining Practice*. Monograph series No12. 3rd ed. Carlton, Vic: Australasian Institute of Mining and Metallurgy; 2009. P. 137–161.
14. Drebenstedt C., Ritter R., Supru, V.I., Agafonov Y.G. Cyclical-And-continuous method and in-pit crushing operation experience in the world. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(11):81–87. DOI: 10.17580/gzh.2015.11.17.
15. Fu Z., Asad M.W.A., Topal E. A new model for open-pit production and waste-dump scheduling. *Engineering Optimization*. 2019;51(4):718–732. DOI: 10.1080/0305215X.2018.1476501.
16. Coleman L. L. *International Coal*. 1998 ed. Washington, DC: National Mining Association; 1999.
17. Ward Colin R. (ed.) *Coal Geology and Coal Technology*. Melbourne: Blackwell Scientific; 1984.
18. Mousavi A., Kozan E., Liu S. Q. Open-pit block sequencing optimization: A mathematical model and solution technique. *Engineering Optimization*. 2016;48(11):1932–1950. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1142080.
19. Eivazy H., Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2012;121(2):97–108. DOI: 10.1179/1743286312Y.0000000006.
20. Галиев С. Ж. *Автоматизированное корпоративное управление геотехнологическими комплексами на открытых разработках*. Алматы; 2007. 234 с.
21. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions. *European Journal of Operational Research*. 2016;255(3):911–921. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.05.050.
22. Katen K. P. Modern Mining Methods – Longwall, Shortwall. *Elements of Practical Coal Mining*. 2nd ed. Crickmer D. F., Zegeer D. A. (eds.) New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining and Metallurgy; 1982.
23. Яковлев В. Л., Азев В. А., Макаров А. М. *Внутрипроизводственное планирование в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия*. Челябинск: АБРИС; 2019. 164 с.
24. Boland N., Dumitrescu I., Froyland G., Gleixner A. M. LP-based disaggregation approaches to solving the open pit mining production scheduling problem with block processing selectivity. *Computers and Operations Research*. 2009;36(4):1064–1089. DOI: 10.1016/j.cor.2007.12.006.
25. Галкин В. А. *Технологические основы проектирования и планирования грузопотоков на рудных карьерах с автомобильным транспортом*. Дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск; 1987. 290 с.
26. Истомина В. В. О методологических принципах открытых горных работ. *Научные проблемы горного производства*. М.: Изд-во МГГУ; 2000.
27. Shishvan M.S., Sattarvand J. Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization. *European Journal of Operational Research*. 2015;240(3):825–836. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.07.040.
28. Budeba M. D., Joubert J. W., Webber-Youngman R., Shafiee S. Predicting the efficiency of a surface coal mine for competitiveness. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017;31(3):187–204. DOI: 10.1080/17480930.2015.1135669.
29. Abdel Sabour S.A., Dimitrakopoulos R. Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*. 2011;47(2):191–201. DOI: 10.1134/S1062739147020067.
30. Соколовский А. В. *Методология проектирования технологического развития действующих карьеров*. Дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск; 2009. 276 с.
31. Шешко Е. Ф. *Разработка полезных ископаемых открытым способом*. М.: Углетехиздат; 1949. 347 с.
32. Щадов М. И., Виницкий К. Е., Шаль Р. Р. *Опыт совершенствования технологии и управления качеством угля в ПО «Экибастузуголь»*. Обзор. ЦНИЭИуголь. М.; 1985.
33. Chatterje S., Sethi M.R., Asad M.W.A. Production phase and ultimate pit limit design under commodity price uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2016;248(2):658–667. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.07.012.
34. Артемьев В. Б. *Технологические и организационные механизмы эффективного функционирования угольной компании при комплексном освоении месторождений*. Дис. ... д-ра техн. наук. М.; 2004. 259 с.
35. Коваленко В. С., Артемьев В. Б., Опанасенко П. И., Исайченков А. Б. *Технологические схемы проведения капитальных и разрезных траншей на угольных разрезах*. М.; 2011. 408 с.
36. Виницкий К. Е., Шаль Р. Р. *Управление качеством угля на разрезах ПО «Экибастузуголь»*. Обзор. ЦНИЭИуголь. М.; 1981.



References

1. Arsent'yev A.I., Kholodnyakov G.A. *Designing open pit mining*. Moscow: Nedra Publ.; 1994. 336 p. (In Russ.).
2. Rzhnevsky B.B. *Open pit mining*. Moscow; 1985. 512 p. (In Russ.).
3. Khokhryakov V.S. *Open pit mining*. Moscow: Nedra Publ.; 1982. 280 p. (In Russ.).
4. Melnikov N.V. *Open pit mining*. Selecta. Moscow: Nauka Publ.; 1985. 280 p. (In Russ.).
5. Trubetskoy K.N., Potapov M.G., Vinnitsky K.E., et al. *Open pit mining*. Reference book. Moscow: Bureau of Mines Publ.; 1994. 590 p. (In Russ.).
6. Kaplunov D. R. *Integrated development of ore deposits: design and methods of underground mining*. Moscow: IPKON RAS Publ.; 1998. 383 p. (In Russ.).
7. Gavrishchev, S.E. *Organizational and technological methods for improving reliability and efficiency of an open pit operation*. Magnitogorsk: MSTU Publ.; 2002. 217 p. (In Russ.).
8. Rossi M. E., Deutsch C. V. *Mineral resource estimation*. Springer, Dordrecht; 2014. P. 1–332. DOI: 10.1007/978-1-4020-5717-5.
9. Goovaerts P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. *Technometrics*. Oxford University Press. 1997;42.
10. Galiev S.Zh. *Optimization of open pit mining-transport system parameters using simulation technique*. Doctoral thesis in Engineering Science. Almaty; 1997. 391 p. (In Russ.).
11. Trubetskoy K.N., Zharikov I.F., Shenderov A.I. Improvement of cyclical-and-continuous system design in open pit mines. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(1):21–25. (In Russ.).
12. Topp V., Soames L., Parham D., & Bloch H. *Productivity in the mining industry: Measurement and interpretation*. Productivity Commission, Government of Australia, Staff Working Papers; 2008.
13. White B., Seib, W., Isokangas T. Mine planning. In: R. J. Kininmonth, E. Y. Baafi (eds). *Australasian Coal Mining Practice*. Monograph series No12. 3rd ed. Carlton, Vic: Australasian Institute of Mining and Metallurgy; 2009. P. 137–161.
14. Drebenstedt C., Ritter R., Supru, V.I., Agafonov Y.G. Cyclical-And-continuous method and in-pit crushing operation experience in the world. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(11):81–87. DOI: 10.17580/gzh.2015.11.17.
15. Fu Z., Asad M.W.A., Topal E. A new model for open-pit production and waste-dump scheduling. *Engineering Optimization*. 2019;51(4):718–732. DOI: 10.1080/0305215X.2018.1476501.
16. Coleman L. L. *International Coal*. 1998 ed. Washington, DC: National Mining Association; 1999.
17. Ward Colin R. (ed.) *Coal Geology and Coal Technology*. Melbourne: Blackwell Scientific; 1984.
18. Mousavi A., Kozan E., Liu S. Q. Open-pit block sequencing optimization: A mathematical model and solution technique. *Engineering Optimization*. 2016;48(11):1932–1950. DOI: 10.1080/0305215X.2016.1142080.
19. Eivazy H., Askari-Nasab H. A mixed integer linear programming model for short-term open pit mine production scheduling. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*. 2012;121(2):97–108. DOI: 10.1179/1743286312Y.0000000006.
20. Galiev S. Zh. *Automated corporate management of geotechnological complexes in open-pit mining*. Almaty; 2007. 234 p. (In Russ.).
21. Matamoros M. E. V., Dimitrakopoulos R. Stochastic short-term mine production schedule accounting for fleet allocation, operational considerations and blending restrictions. *European Journal of Operational Research*. 2016;255(3):911–921. DOI: 10.1016/j.ejor.2016.05.050.
22. Katen K. P. Modern Mining Methods – Longwall, Shortwall. *Elements of Practical Coal Mining*. 2nd ed. Crickmer D. F., Zegeer D. A. (eds.) New York: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining and Metallurgy; 1982.
23. Yakovlev V. L., Azev V. A., Makarov A.M. *Intra-production planning in the conditions of innovative development of a coal mining enterprise*. Chelyabinsk: ABRIS Publ., 2019. 16 p. (In Russ.).
24. Boland N., Dumitrescu I., Froyland G., Gleixner A. M. LP-based disaggregation approaches to solving the open pit mining production scheduling problem with block processing selectivity. *Computers and Operations Research*. 2009;36(4):1064–1089. DOI: 10.1016/j.cor.2007.12.006.
25. Galkin V.A. *Technological basis for design and planning of freight traffic at open pits using motor transport*. Doctoral thesis in Engineering Science. Magnitogorsk; 1987. 290 p. (In Russ.).
26. Istomin V. V. About methodological principles of open pit mining. *Scientific problems of mining*. Moscow: MGGU Publishing House; 2000. (In Russ.).
27. Shishvan M.S., Sattarvand J. Long term production planning of open pit mines by ant colony optimization. *European Journal of Operational Research*. 2015;240(3):825–836. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.07.040.
28. Budeba M. D., Joubert J. W., Webber-Youngman R., Shafiee S. Predicting the efficiency of a surface coal mine for competitiveness. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017;31(3):187–204. DOI: 10.1080/17480930.2015.1135669.



29. Abdel Sabour S. A., Dimitrakopoulos R. Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*. 2011;47(2):191–201. DOI: 10.1134/S1062739147020067.
30. Sokolovsky A. V. Methodology for designing technological development of operating open pits. Doctoral thesis in Engineering Science. Chelyabinsk; 2009. 276 p. (in Russian).
31. Sheshko E. F. *Open-pit mining of minerals*. Moscow: Ugletekhizdat Publ.; 1949. 347 p. (In Russ.).
32. Shchadov M. I., Vinitsky K. E., Shal' P. P. *Improving technological solutions and coal quality management in the Ekibastuzugol Production Concern*. Overview. TsNIEIugol, Moscow; 1985. (In Russ.).
33. Chatterje S., Sethi M.R., Asad M.W.A. Production phase and ultimate pit limit design under commodity price uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2016;248(2):658–667. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.07.012.
34. Artemyev V. B. *Technological and organizational mechanisms for effective functioning of a coal company in the course of integrated development of deposits*. Doctoral thesis in Engineering Science. M., 2004, 259 p. (in Russian).
35. Kovalenko V. S., Artemyev V. B., Opanasenko P. I., Isaichenkov A. B. *Technological schemes for excavation of permanent and working trenches at coal mines*. Moscow; 2011. 408 p. (In Russ.).
36. Vinitsky K. E., Shal' P. P. *Coal quality management at opencast mines of Ekibastuzugol'*. Overview. TsNIEIugol, Moscow; 1981. (In Russ.).



ORIGINAL PAPERS / ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-131-153

Задачи совершенствования управления и повышения эффективности функционирования технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана**Подрезов Д. Р.**АО «НАК «Казатомпром», уранодобывающее предприятие ТОО «Каратау»,
г. Шымкент, Республика Казахстан

Аннотация: Задачи непрерывного поиска производственных резервов, факторов повышения эффективности, оптимизации расходов на добычу и расширение минерально-сырьевой базы горнодобывающего предприятия становятся как никогда актуальными в сложившихся на сегодняшний день негативных тенденциях на мировом рынке уранового сырья. Одним из актуальных путей сохранения своих позиций для предприятия является непрерывное совершенствование подходов и методов управления технологическими показателями функционирования добычных блоков рудника и обеспечение необходимых объемов вскрытых и готовых к отработке запасов. В работе проведен теоретико-информационный анализ технологической схемы промышленной отработки запасов урана методом подземного скважинного выщелачивания. Определены регрессионные взаимосвязи основных показателей функционирования технологических циклов предприятия и формализована задача управления технологическими блоками на стадиях закисления, активного выщелачивания, доработки и вывода из эксплуатации. Полученные по результатам вскрытия рудного тела статистические характеристики ячеек технологического блока и распределения запасов урана, а также анализ динамики изменения добычи и степени извлечения по технологическому блоку, баланса производительностей технологического блока по продуктивным и выщелачивающим растворам позволили рассчитать основные геотехнологические показатели, которые легли в основу получения регрессионных взаимосвязей между степенью извлечения урана и соотношением количества поданного выщелачивающего раствора к горнорудной массе, а также для рядов динамики удельных расходов серной кислоты и электроэнергии. Этот подход позволил определить проблемные зоны и перспективные направления совершенствования процесса управления и повышения эффективности функционирования технологического полигона рудника подземного скважинного выщелачивания. Планируемые мероприятия позволят переоценить ресурсный потенциал технологического блока с одновременным обоснованным прогнозом остаточных запасов урана в эксплуатируемых и вскрываемых блоках, снизить затраты на стадии горно-подготовительных работ, при своевременном выводе из эксплуатации блоков снизить потребность в электроэнергии, оптимизировать расход серной кислоты и в целом повысить качество прогнозирования и планирования производственных показателей с целью безусловного выполнения программы добычи урана. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для совершенствования кратко- и среднесрочного планирования технико-экономических показателей горно-подготовительных работ и добычи на основе прогноза величины рудных интервалов на обрабатываемых блоках, что способствует укреплению ресурсной базы предприятия и увеличению капитализации компании.

Ключевые слова: подземное скважинное выщелачивание, технологическая схема, повышение эффективности управления, технологический блок, ресурсный потенциал, запасы урана.

Для цитирования: Подрезов Д. Р. Задачи совершенствования управления и повышения эффективности функционирования технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):131-153. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-131-153.





Issues of Improving Control and Increasing Efficiency of Production Blocks at an ISL Uranium Mine

D. R. Podrezov

NAC Kazatomprom JSC, uranium mining enterprise Karatau LLP, Shymkent, the Republic of Kazakhstan

Abstract: The tasks of continuous optimizing production, looking for ways of increasing performance, cutting mining costs and expanding mineral resource base of a mining enterprise are becoming more relevant than ever in conditions of the current negative trends at the world market of uranium resources. Increasing enterprise competitiveness requires permanent improvement of approaches and methods for managing performance of production blocks of a mine and ensuring the necessary volumes of reserves prepared for production. In the study, a theoretical information analysis of the process flow sheet of commercial ISL uranium production was carried out. The regression relationships between the main indicators of the production process cycles were determined, and the task of controlling production blocks at the stages of acidification, active leaching, completing operation, and decommissioning was formalized. The statistical characteristics of a production block cells and the distribution of uranium reserves, obtained based on the data of ore body drilling-in, as well as the analysis of the dynamic pattern of uranium production and recovery by production block depending on time, the balance of production block productivity by pregnant and leaching solutions enabled calculating key geotechnological indicators that formed the basis for calculating regression relationships between the uranium recovery and the ratio of the leaching solution amount to the rock mass amount, as well as for estimating specific consumption of sulfuric acid and electricity depending on operation time. This approach allowed identifying the problem areas and promising ways for improving the control procedure and performance of ISL mine wellfield operation. The planned measures will allow re-estimating resource potential of a production block while simultaneously providing a reasonable forecast of the residual uranium reserves in the being exploited and drilled-in blocks, reducing costs at the main development stage, and, by providing timely decommissioning of the blocks, reducing power consumption, optimizing sulfuric acid consumption, and overall improving quality of projecting and planning the production indicators for achieving uranium production targets. The study results can be used for improving short- and medium-term planning of technical and economic indicators of main development and production based on the forecast of ore interval sizes in production blocks that contributes to strengthening resource base and increasing capitalization of a company.

Keywords: in situ leaching, process flow sheet, improving control efficiency, production block, resource potential, uranium reserves.

For citation: Podrezov D. R. Issues of improving control and increasing efficiency of production blocks at an ISL uranium mine. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):131-153. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-131-153.

Введение

Несмотря на сложившиеся на сегодняшний день негативные тенденции мирового рынка, заключающиеся в снижении спроса и цены на уран, атомная энергетика имеет хорошее будущее и существует потенциальная возможность для производителей урана наращивать его выпуск [1, 2]. В связи со снижением мировых цен на природный уран и ухудшением рыночной ситуации для уранодобывающих предприятий все добычные компании ведут работы по оптимизации производства и сокращают расходы [3]. При этом одни компании эффективно внедряют в производство методы и модели снижения производственных затрат, как Cameco, а другие, как

Paladin Energy, ведут добычу на рудниках с низкой себестоимостью [4, 5].

Объем добычи урана в пост-фукусимском периоде, несмотря на снижение спроса, из года в год растет в основном за счет обработки запасов месторождений крупнейших уранодобывающих компаний [6, 7], что обусловлено стремлением сохранить свою долю на рынке природного урана. Такая тенденция обеспечивается в первую очередь развитой минерально-сырьевой базой месторождений. В ожидании улучшения мировой конъюнктуры уранодобывающие компании с незначительными запасами и небольшими объемами добычи вынуждены сокращать объемы своей производственной деятельности [8–11].

В связи с этим выполнение поставленных перед уранодобывающим предприятием стратегических целей, которые направлены на увеличение стоимости компании, в том числе за счет актуализации показателей минерально-сырьевой базы месторождения и повышения эффективности, качества и надежности производственно-технологической деятельности, является актуальной научно-практической задачей [12–14].

Анализ технологической схемы добычи урана

Решение данной задачи сопряжено с необходимостью обеспечения максимально

эффективного управления функционированием предприятия при проведении горно-подготовительных работ, интенсификацией процесса добычи, повышением содержания урана в продуктивном растворе и снижением уровня эксплуатационных затрат.

С этой целью на первом этапе исследований был проведен всесторонний комплексный анализ технологической схемы обработки запасов урана и выпуска готовой продукции, который позволил выделить следующие основные стадии производственных процессов (рис. 1) [15, 16].



Рис. 1. Укрупненная технологическая схема промышленной отработки запасов урана

Fig. 1. Outline flow chart of commercial ISL uranium production



Процесс добыча урана на геотехнологическом полигоне состоит из следующих составляющих: подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) урана сернокислотными растворами на геотехнологическом полигоне скважин (ГТП); насосный раствороподъем продуктивных растворов из откачных скважин; сбор продуктивных растворов в технологических узлах приема (УППР); транспортировка урансодержащих растворов по сборному коллектору в пескоотстойники продуктивных растворов (ПР) основной промышленной площадки рудника ПСВ; подкисление возвратных растворов в технологических узлах приготовления выщелачивающих растворов (УПВР) серной кислотой, подаваемой с расположенного на промышленной площадке

рудника ПСВ склада; подача рабочих (выщелачивающих) растворов в закачные скважины добычных полигонов через узлы распределения (УРВР) [17, 18].

Продуктивные растворы с добычных комплексов полигонов скважин поступают на установку цеха переработки продуктивных растворов (ЦППР) перерабатывающего комплекса – основной промышленной площадки рудника ПСВ. Основные технологические процессы переработки урансодержащих растворов в ЦППР рудника ПСВ заключаются в следующем (рис. 2): сбор и осветление продуктивных растворов в пескоотстойнике; подача ПР насосами центральной насосной станции (ЦНС).

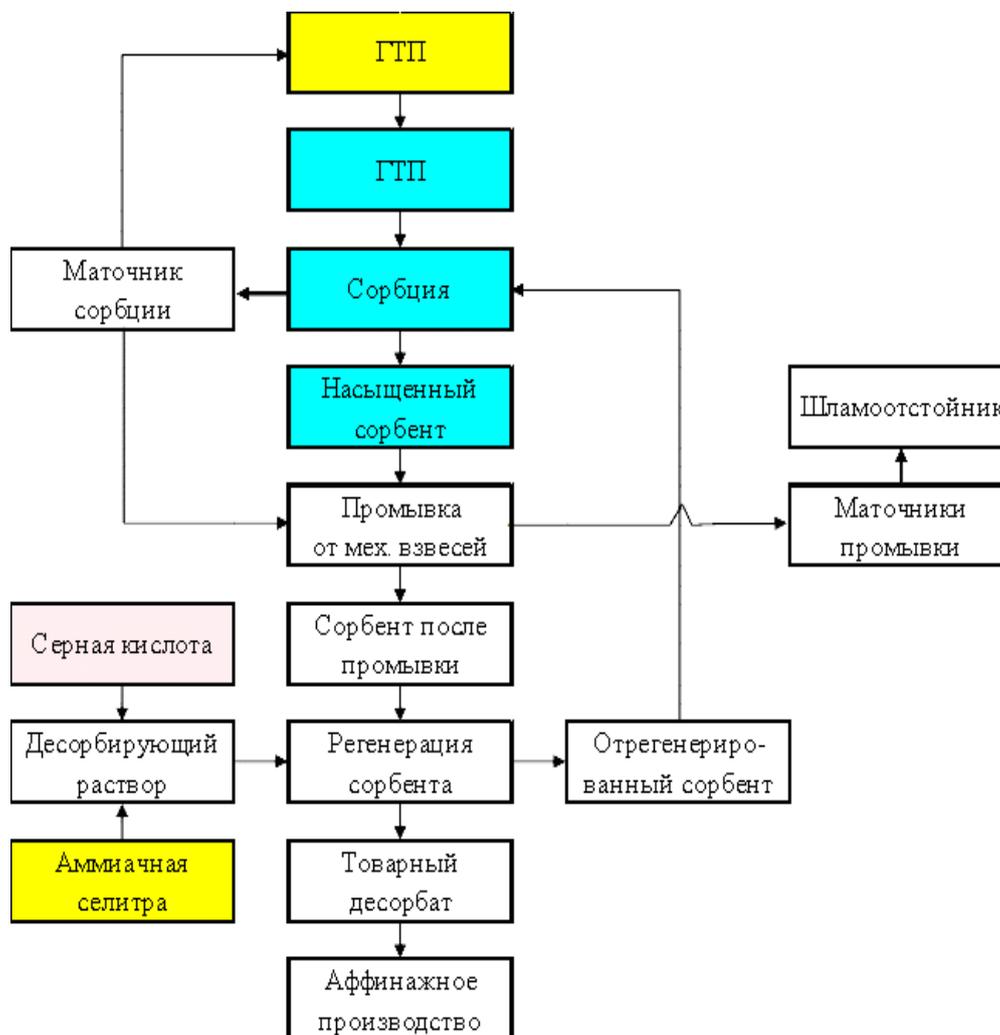


Рис. 2. Укрупненная технологическая схема переработки продуктивных растворов ПСВ урана и выпуска продукции в виде урансодержащего товарного десорбата

Fig. 2. Outline flow chart of processing of uranium ISL pregnant solutions and production of marketable uranium-containing Rich Eluate

**Основные показатели работы сорбционного отделения цеха переработки продуктивных растворов рудника подземного скважинного выщелачивания****Key performance indicators of sorption section of the area for pregnant solution processing of an ISL mine**

Показатель	Величина
Объем растворов ПР, поступивших на переработку, тыс. м ³	649,1
Состав продуктивных растворов:	
среднее содержание урана в ПР, мг/л	303
рН растворов, ед. рН	2,0
Получено маточников сорбции, тыс. м ³	649,1
Получено урана в ПР, кг	197 314
Содержание урана в маточниках сорбции, мг/л	1,1
Получено урана в ВР, кг	714
Коэффициент извлечения урана из ПР, %	99,6
Получено урана в насыщенной смоле (добыча урана), кг	196 600

Очистка товарного десорбата от примесей включает окисление 2-валентного железа в 3-валентное состояние перекисью водорода; нейтрализацию избыточной кислотности товарного десорбата с осаждением железа аммиачной водой в виде гидроокиси; сгущение осадка гидроокиси железа; фильтрацию сгущенной части осадка гидроокиси железа на фильтр-прессе; растворение осадка гидроокиси железа в маточниках сорбции с добавлением серной кислоты; использование полученного сернокислого раствора железа в качестве дополнительного окислителя в процессе ПСВ урана – направление растворов на объединение с маточниками сорбции.

На стадии осаждения урана из товарного десорбата происходят следующие процессы: осаждение урана перекисью водорода с получением пероксида; корректировка величины значения рН процесса осаждения аммиачной водой; сгущение осадка пероксида урана; фильтрация сгущенной части осадка пероксида урана на фильтр-прессах; направление маточников фильтрации и промывочных вод на объединение с продуктивными растворами ПСВ урана; направление полученного осадка пероксида урана на стадию прокалики; сушка и прокалика осадка пероксида урана до закиси-окиси; затаривание готовой продукции в транспортную тару.

Проектная производительность аффинажного производства – 2000 т урана в год в виде закиси-окиси природного урана.

Управление основными видами работ на технологических блоках рудника подземного скважинного выщелачивания урана

Для эффективного применения методов системного анализа для надежной и качественной промышленной оценки урановых месторождений кроме получения непосредственно сведений о запасах необходимо провести исследования качества и состава руды, соотношения между первичными и окисленными урановыми минералами, минералогического и химического состава нерудных составляющих, количества и ценности сопутствующих компонентов в комплексных рудах как исходной совокупности базовых показателей идентификации сложных систем управления [21, 22].

Используя классификацию урановых руд по содержанию, можно заметить, что в основном преобладают бедные руды (0,01–0,10 %), реже встречаются рядовые (0,10–0,25 %) и средние (0,25–0,5 %). Урановые минералы в руде представлены легко растворимыми в сернокислотных растворах формами, к тому же локализованными среди основной массы нерастворимых и труднорастворимых минералов. Рудная минерализация, более или менее равномерно распределенная в рудах, представлена коффинитом и настураном. Как правило, урановые минералы находятся в тонкодисперсной форме и легко переходят в раствор слабоконцентрированной серной кислоты.

Используя корреляционную зависимость между гранулометрическим составом и коэффициентами фильтрации (K_f), легко заметить, что литологические разности имеют следующие усредненные фильтрационные свойства: мелкозернистый песок ($K_f = 5$ м/сут); среднезернистый песок ($K_f = 10$ м/сут); разноезернистый песок ($K_f = 19$ м/сут); разноезернистый песок с гравиом ($K_f = 24$ м/сут).

Характерными особенностями технологического блока и в целом залежи месторождения являются приуроченность основных запасов урана к проницаемым породам с высокой площадной продуктивностью руд и хорошими фильтрационными свойствами; наличие напорных вод; низкая карбонатность руд и вмещающих пород; достаточно равномерное распределение уранового оруденения при однородном литологическом строении рудовмещающего горизонта [23, 24].

На технологическом блоке используется гексагональная (ячеистая) схема вскрытия, являющаяся наиболее эффективной при разработке широких рудных залежей. Она позволяет оперативно управлять процессом подземного скважинного выщелачивания, легко расширяется в любую сторону, отличается равномерностью отработки рудного горизонта, наиболее напряженным гидродинамическим режимом. Анализ результатов эксплуатации блоков с ряд-

ной и ячеистой системами расположения скважин однозначно показывает, что при гексагональной схеме отношение Ж:Т (отношение количества поданного выщелачивающего раствора к горнорудной массе) меньше, блоки обрабатываются быстрее и эффективнее, средние и максимальные содержания урана в продуктивных растворах значительно выше, а удельные расходы серной кислоты на выщелачивание ниже.

При выборе схемы вскрытия участков и блоков на этапе промышленной отработки месторождения должны учитываться морфология рудных тел в плане и разрезе – расположение рудного тела в нескольких рудных подгоризонтах и ширина геологических блоков; литолого-фильтрационные свойства залежи; гидродинамический режим откачки-закачки технологических растворов.

Основные геотехнологические параметры и прогнозные показатели функционирования блока рудника подземного скважинного выщелачивания представлены в табл. 2.

С учетом геолого-гидрогеологических условий рудовмещающего горизонта, плотности пород, коэффициента эффективной пористости, показателя скин-эффекта для расчета функционирования откачных скважин принимается дебит – 10 м³/ч, а приемистость закачных скважин составит около 2,2 м³/ч (табл. 3) [25–27].

Таблица 2

Геотехнологические параметры блока рудника ПСВ

Geotechnological parameters of an ISL mine block

Средняя продуктивность рудного тела (m_v), кг/м ²	Средняя рудная мощность (m), м	Среднее содержание урана в руде (C), %	Продуктивность в метрпроценте (m_c), м%	Эффективная мощность закисляемого продуктивного горизонта (M_s), м	Коэффициент фильтрации растворов в рудной части горизонта (K_f), м/сут
14,9	11,28	0,077	0,8686	13,6	7,0

Таблица 3

Геолого-гидрологические условия отработки технологического блока рудника ПСВ

Geological and hydrological conditions for extraction of an ISL mine block

Плотность пород рудного горизонта (ρ_n), кг/м ³	Коэффициент эффективной пористости (K_n)	Компрессия на закачных скважинах (S_n), м вод. ст.	Депрессия на откачных скважинах (S_o), м вод. ст.	Показатель скин-эффекта (S_k)	Коэффициент извлечения ($K_{извл}$)
1,7	0,22	65	10	2,05	0,90

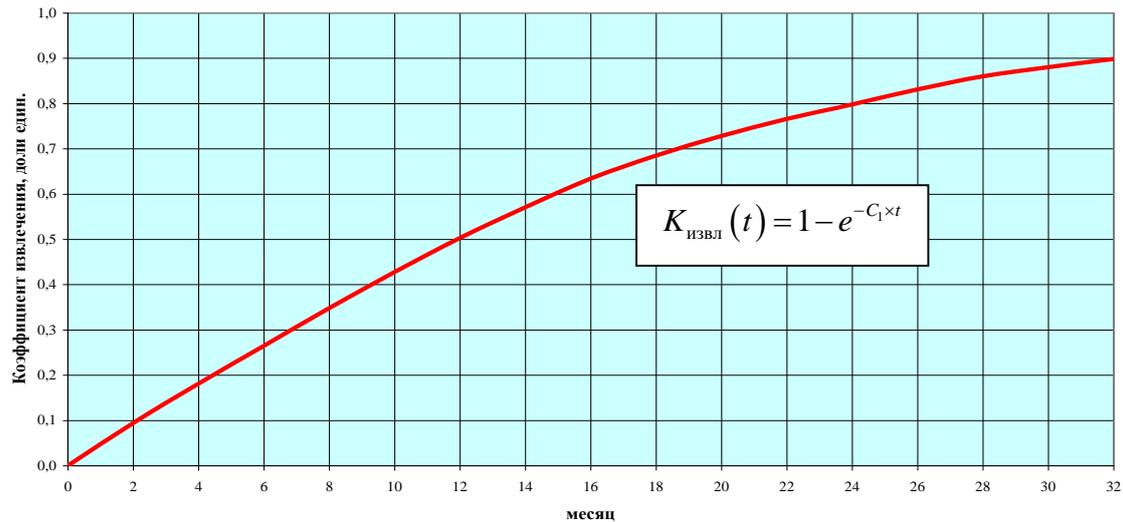


Рис. 4. Динамика изменения степени извлечения урана из недр
($C_1 = 1,4$ – параметр, определяющий кинетику процесса выщелачивания урана в ячейке)

Fig. 4. Dynamics of uranium reserve recovery
($C_1 = 1.4$ is a parameter that determines uranium leaching kinetics in a cell)

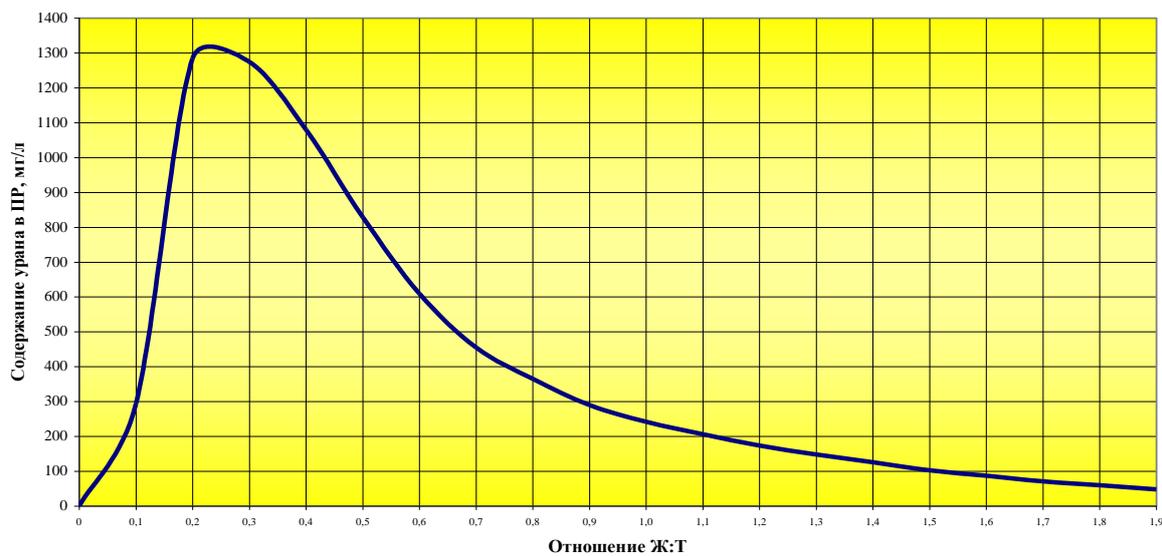


Рис. 5. Изменение содержания урана в продуктивном растворе от отношения Ж:Т
($C_1^1 = 4,95$ – параметр, определяющий скорость изменения концентрации урана в растворе)

Fig. 5. Uranium content in pregnant solution as a function of the Liquid : Solid ratio
($C_1^1 = 4.95$ – a parameter that determines the rate of changing uranium concentration in the solution)

Анализ динамики степени извлечения урана из недр при отработке месторождения позволил получить экспоненциальную тенденцию изменения данного показателя во времени (рис. 4) [28].

С использованием значения параметра, определяющего скорость изменения концентрации урана в растворе, была получена взаимосвязь содержания урана в продуктивном

растворе с соотношением Ж:Т (рис. 5). Полученные зависимости являются одними из основных соотношений базовых показателей процесса подземного скважинного выщелачивания.

Данные взаимосвязи легли в основу расчета основных прогнозных показателей работы технологического блока (табл. 4) и позволили рассчитать основные показатели и параметры его отработки (табл. 5) [29].



Таблица 4

Основные прогнозные показатели работы технологического блока рудника ПСВ
The main performance targets of an ISL mine production block

Ж:Т, м ³ /т	Время закисления ($T_{\text{закисл}}$), дней	Время выщелачивания ($T_{\text{выщ}}$), лет	Максимальное содержание урана (C_{max}), мг/л	Среднее содержание урана ($C_{\text{сред}}$), мг/л	Удельный расход кислоты на период активного выщелачивания ($C_{\text{уд.акт.выщ}}^1$), кг/кг
1,9	62	2,6	1320	295	33,5

Таблица 5

Основные расчетные показатели функционирования технологического блока рудника ПСВ
The main estimate indicator of an ISL mine production block

Наименование показателя	Значение показателя
Характеристика опытного блока	
Площадь опытного блока, тыс. м ²	25,3
Средняя продуктивность, кг/м ²	14,9
Геологические запасы, т	343
Схема расположения скважин	Гексагональная
Радиус гексагональной ячейки, м	2 по 45 2 по 50
Общее количество скважин, шт.:	24
откачных	4
закачных	18
наблюдательных	2
Отношение количества закачных скважин к откачным	4,5
2. Показатели эксплуатации технологического блока	
Дебит откачных скважин, м ³ /ч	10
Приемистость закачных скважин, м ³ /ч	≈ 2,5
Давление на устье закачной скважины, МПа	> 6,0
Отношение Ж:Т, м ³ /т	1,9
Горнорудная масса, тыс. т	633
Объем технологических растворов, тыс. м ³	1202,7
Производительность опытного блока, м ³ /ч	40
Время закисления, дней	62
Время отработки, лет	2,6
Объем растворов на закислении, тыс. м ³	59,5
Объем растворов на выщелачивании, тыс. м ³	1143,2
Среднее содержание урана в продуктивных растворах, мг/л	295
рН продуктивных растворов, ед. рН	1,8–2,1
Кислотность выщелачивающих растворов, г/л:	
в период закисления	15–17
в период активного выщелачивания	5–7
в период доработки	1–2
Удельный расход кислоты, кг/кг:	
в период активного выщелачивания	35,5
за весь период отработки	51,5
3. Параметры отработки технологического блока	
Геологические запасы, т	343
Извлекаемые запасы, т	308,7
Потери, т	34,3
Степень извлечения урана из недр, %	90



Процесс управления непосредственно работами технологического блока на руднике ПСВ подразделяется на несколько стадий: управление на стадии закисления; управление стадией активного выщелачивания; управление на стадии доработки и вывода блока из эксплуатации [30–32].

Выделение этих стадий носит несколько условный характер, тем не менее они обусловлены конкретными изменениями геотехнологических параметров и режимов, связанных в основном с подачей основного выщелачивающего реагента – серной кислоты.

Закисление – это непрерывный во времени технологический процесс, направленный на формирование в рудовмещающем водоносном горизонте геохимической обстановки, обеспечивающей перевод урана в раствор и обогащение им продуцирующих растворов, создание закачкой и откачкой технологических растворов гидродинамических условий интенсивного массопереноса. С учетом морфологических параметров рудных тел, вещественного состава руд и вмещающих пород, водно-физических характеристик продуктивного водоносного горизонта оптимальными приняты закисляющие растворы с содержанием серной кислоты порядка 15–17 г/л. При закислении подача растворов в закачные скважины производится одновременно с непрерывной откачкой пластовых вод из откачных скважин с соблюдением общего по блоку баланса растворов.

Период отработки участков (блоков) подразделяется на две стадии: активное выщелачивание и довыщелачивание запасов урана.

Стадия активного выщелачивания характеризуется интенсивным переходом урана в обогащающийся и продуцирующий раствор, а также переносом его к откачным скважинам. Выщелачивание урана осуществляется маточниками сорбции, доукрепляемыми серной кислотой до заданной концентрации. Как в период закисления, так и на стадии активного выщелачивания, необходимо соблюдать гидродинами-

ческое равновесие (баланс объемов закачиваемых и откачиваемых растворов) как по отдельным блокам, так и по участкам в целом. При соблюдении указанного условия система скважин блоков (участков) работает в стационарном режиме фильтрации, чем обеспечиваются локализация зоны циркуляции растворов в плане и разрезе рудовмещающего горизонта, минимальное разубоживание продуктивных растворов и управляемость процесса в целом.

Доработка (довыщелачивание) эксплуатационного блока (участка) – процесс завершающей стадии отработки запасов урана блока (участка), характеризующийся, как правило, устойчивым снижением содержания урана в продуктивных растворах при увеличении извлечения запасов урана из недр от уровня 60–70 % до планового 90 %. На этой стадии концентрация рабочих растворов по кислоте должна неуклонно снижаться независимо от карбонатности руд и вмещающих пород от 5–3 г/л до кислотности маточников. Маточными растворами завершается отработка блока (участка), достигаемая при этом цель – разбавление в рудоносном горизонте растворов с повышенной кислотностью.

Отработку блока (участка) можно считать завершенной при необратимом снижении содержания урана в продуктивных растворах до уровня ниже минимального промышленного – 30 мг/л.

Для наблюдения за технологическими параметрами процессов закисления и выщелачивания, получения информации о формировании структуры фильтрационного потока в разрезе, изучения динамики закисления и выщелачивания урана из руды между закачными скважинами гексагональной сети, а также контроля за контуром растекания выщелачивающих растворов в плане и разрезе на технологическом полигоне предусмотрены наблюдательные скважины, которые с учетом отсутствия повсеместно развитого нижнего водоупора и возможности не только горизонтального, но и верти-



кального растекания технологических растворов сооружаются несколько ниже рудного горизонта.

Управление режимно-балансовыми наблюдениями и опробованием находящихся в работе технологических скважин проводится с целью контроля содержания урана в растворах, наблюдения за ходом ПСВ и химизмом выщелачивания урана.

Процесс опробования делится на ряд этапов, различающихся по совокупности решаемых задач, видам и методикам выполнения: опробование скважин в период подготовки запасов к отработке; опробование в процессе проведения опытных работ; опробование скважин после завершения процесса ПСВ.

По результатам наблюдений и анализа объемов технологических растворов и их опробования осуществляются расчет и мониторинг

добычи урана и затрат выщелачивающего реагента (серной кислоты), а также оперативный контроль баланса между объемами откачных и закачных растворов по ячейкам технологического блока в целом, являющийся обязательным условием нормального ведения процесса ПСВ и охраны окружающей среды.

На последнем этапе – после завершения процесса ПСВ, выполняется опробование скважин контрольного бурения с целью определения полноты извлечения урана. За проведенным анализом расположения подгоризонтов рудных тел и интервалов посадки фильтров обсадных колонн технологических (откачных и закачных) и наблюдательных скважин следует расчет показателей вскрытия рудного тела и соответственно вскрытых запасов. Основные параметры ячеек технологического блока в целом и распределение запасов урана в них приведены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристика ячеек технологического блока и распределение запасов урана в них по результатам вскрытия рудного тела

Characteristics of an ISL mine production block cells and distribution of uranium reserves in them based on the findings of an ore body drilling-in

Номер ячейки	Номер откачной скважины	Площадь блока (S), тыс. м ²	Средняя продуктивность рудного тела (m _U), кг/м ²	Запасы урана (P _U), т	Горнорудная масса (ГРМ), тыс. т
1	0-2-1	6,83	20,33	137,1	164,6
2	0-2-2	5,33	16,08	86,2	111,2
3	0-2-3	5,09	9,85	52,1	92,7
4	0-2-4	6,50	13,68	87,6	173,5
По технологическому блоку		23,73	23,75	363,0	542,0

На следующем этапе необходимо формализовать задачу управления основными показателями извлечения урана из недр, при этом степень извлечения определяется как разница запасов до проведения опыта (подсчет проводится по гамма-каротажу по всем скважинам, входящим в геометрический контур) и после завершения результатов опробования керн контрольных скважин. Оценка степени извлечения урана по контрольным скважинам основывается на сопоставлении результатов кернового опробования и приведенного рудного интервала по

гамма-аномалии через содержание радия. В понятие приведенного рудного интервала (РИ) по контрольной скважине вложено эквивалентное сохранение соотношения концентрации радия до опыта и после процесса выщелачивания [33, 34].

Результаты промышленных испытаний функционирования технологического блока рудника подземного скважинного выщелачивания

Проведенный анализ определения фактически закисленной горнорудной массы, произ-

веденный по скважинам с учетом всех видов лабораторных исследований на базе результатов индукционного каротажа, позволил определить следующие соотношения.

Средняя мощность фактически закисленных пород на геотехнологическом блоке составила 13,26 м при средней длине фильтров 10,3 м. Нижняя граница распространения выщелачивающих растворов ограничивается локальными водоупорами продуктивного горизонта. Верхняя граница расположена в отдельных скважинах выше фильтров на 5–6 м, что определяется прежде всего взаимным расположением фильтров технологических скважин. Площадь ячейки в геометрическом контуре: 23 753 м². Объем закисленной горнорудной массы: 23 753 × 13,26 = 314 964,8 м³. Закисленная горнорудная масса: 314 964,8 × 1,70 = 535 440 т.

Дебиты откачных скважин и приемистость закачных, а также производительность технологического блока в целом по откачным и закачным растворам за весь период эксплуатации были достаточно стабильны [35, 36].

Наличие расходомеров и регулирующей запорной арматуры на всех откачных скважинах в технологических узлах приема продуктивных растворов (УППР) и закачных в узлах распределения выщелачивающих растворов (УРВР) технологического блока позволяло своевременно

принимать меры по повышению эффективности, надежности и изменению режима работы всей скважинной системы для контроля баланса откачных и закачных растворов.

Таким образом, в результате проведенного анализа показателей функционирования технологического полигона установлено, что всего за расчетный период поднято на поверхность 714,7 тыс. м³ и подано в недра 709,8 тыс. м³ растворов; средняя производительность блока по откачным растворам составила 60,2 м³/ч, по закачным – 59,8 м³/ч; средний дебит откачных скважин – 15,1 м³/ч; средняя приемистость закачных скважин – 3,3 м³/ч. В целом средняя за отчетный период приемистость закачных скважин колебалась в достаточно широком интервале – от 1,5 до 6,4 м³/ч. Работоспособность скважин поддерживалась проведением эрлифтной прокачки нагнетаемым на глубину 60–90 м сжатым воздухом.

Баланс продуктивных и выщелачивающих растворов по ячейкам, на которых выводились для проведения РВР закачные скважины, поддерживался перераспределением объемов подачи растворов в смежные с ними скважины [37, 38].

Баланс продуктивных и выщелачивающих растворов по технологическому блоку приведен на рис. 6.

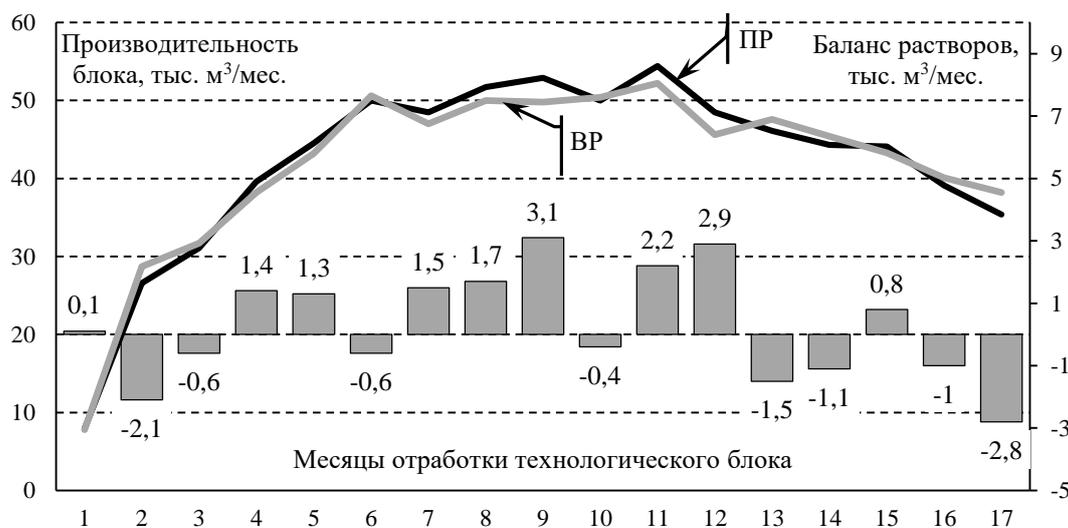


Рис. 6. Динамика баланса производительностей технологического блока по продуктивным (ПР) и выщелачивающим растворам (ВР) (Баланс растворов = ПР–ВР, тыс. м³/мес.)

Fig. 6. Balance of productivity of a production block by pregnant solutions (PS) and leaching solutions (LS) (Balance of the solutions = PS – LS, thous. m³/month)



Анализ данных показал, что подъем продуктивных растворов несколько превысил закачку в недра выщелачивающих – на 0,69 %. Связано это в первую очередь с тем, что статический уровень подземных вод составляет плюс 20 м и более от поверхности земли, т.е. самоизливом скважин и естественной подтяжкой пластовых вод, что, в свою очередь, привело к некоторому разубоживанию продуктивных растворов.

Дебаланс откачиваемых и закачиваемых в недра растворов в сторону раствороподъема в процессе переработки продуктивных растворов ликвидировался за счет их испарения в пескоотстойниках ПР и ВР (за год с зеркала бассейна (пескоотстойника) испаряется около 1400 мм воды).

Управление основными показателями функционирования технологического блока на стадии закисления направлено на формирование в непрерывном во времени технологическим процессе в рудовмещающем водоносном горизонте геохимической обстановки, обеспечивающей перевод урана в раствор и обогащение им продуцирующих растворов, создание балансом откачки и закачки гидродинамических условий для интенсивного массопереноса.

Перед запуском технологического блока в режим закисления была проведена прокачка всех технологических скважин в течение 24 ч до достижения проектной производительности. Фактические дебиты составили 20–25 м³/ч. При окончании прокачки были отобраны пробы на определение содержания урана и pH пластовой воды. Средние значения по технологическому блоку составили: $C_U < 1,0$ мг/л; pH = 6,7 ед.

Для создания благоприятной гидродинамической обстановки в рудном горизонте до подачи кислоты в течение 7 дней проведена проработка рудного тела пластовой водой по замкнутому циклу с непрерывным раствороподъемом из откачных скважин и подачей вод в закачные.

На этом этапе определен дебит откачных скважин (порядка 15 м³/ч) и приемистость закачных (около 4,5–5,0 м³/ч), установлен баланс работы скважин по растворам. В соответствии с

гидрогеологическими расчетами напорный градиент составил 1,1–1,2.

После проведения вышеуказанного перечня работ было начато закисление опытного участка. С учетом морфологических параметров рудных тел, показателей и параметров вещественного состава руд и вмещающих пород, водно-физических характеристик продуктивного водоносного горизонта оптимальными были приняты закисляющие растворы с содержанием 16–20 г/л серной кислоты.

При закислении подача растворов в закачные скважины производилась одновременно с непрерывной откачкой пластовых вод из откачных скважин с соблюдением общего технологического баланса, т.е. закисление проводилось в активном режиме. В течение 10 дней кислотность рабочих (закисляющих) растворов поэтапно поднималась с 5 до 20 г/л, далее стабилизировалась на уровне 17–19 г/л. Концентрация закисляющего реагента регулировалась в зависимости от скорости снижения значений pH в откачных растворах по сборному коллектору. При достижении величины pH, равной 3,0–3,5, концентрация кислоты в закисляющих растворах плавно уменьшалась до 15–12 г/л с последующим снижением до 10–9 г/л при pH = 2,5 ед. Календарное время стадии закисления составило 65 дней. Скорость движения кислотного фронта достигала 0,7–0,8 м/сут и была равномерной во времени для ячеек опытного участка. Отношение Ж:Т на стадии закисления составило 0,122. Кроме того, необходимо также отметить, что нет однозначного определения термина «окончание стадии закисления». Концом стадии закисления можно считать появление в растворах минимально рентабельного содержания урана, индивидуального для каждого из обрабатываемых месторождений, не ориентируясь на значение pH продуктивных растворов. В этом случае длительность закисления уменьшается в 1,5–2,0 раза, соответственно снижается расход закисляющего реагента, в положительную сторону изменяются экономические показатели.

Таким образом, в результате проведенного расчета и анализа удалось получить следующие



соотношения. За весь период закисления: поднято на поверхность – 65,6 тыс. м³ растворов; средняя производительность технологического блока по откачным растворам составила 44,5 м³/ч; средний дебит откачных скважин – 11,1 м³/ч; в недра закачено 68,2 тыс. м³ растворов; средняя производительность по закачным растворам составила 45,7 м³/ч; средняя приемистость закачных скважин – 2,5 м³/ч. Учет расхода серной кислоты велся по результатам анализов проб закисляющего раствора и его объемам, поданным в рудный горизонт по каждой ячейке технологического блока.

Управление основными показателями функционирования технологического блока на стадии выщелачивания заключалось в следующем. Продуктивные растворы со средним содержанием урана порядка 240 мг/л и величиной рН на уровне 2,5 ед. подаются на сорбционное извлечение урана в сорбционную колонну СНК-3м – установку по переработке продуктивных растворов. На этой стадии блок переводится в режим активного выщелачивания. Эта стадия характеризуется интенсивным переходом урана в продуктивный раствор и переносом его к откачным скважинам. Работа скважинной системы в стационарном режиме фильтрации обеспечивалась локализацией зоны циркуляции продуктивных растворов в плане и разрезе рудовмещающего горизонта для обеспечения минимального разубоживания растворов. Концентрация выщелачивающего реагента на данном этапе обработки регулировалась согласно значениям рН откачиваемых растворов и поддерживалась на уровне 8 г/л.

На основании данных входных параметров обработаны и рассчитаны основные геотехнологические показатели работы блока на данной стадии. Период выщелачивания составил 14 мес. Всего за период выщелачивания поднято на поверхность 649,1 тыс. м³ растворов; средняя производительность блока по откачным растворам составила 63,6 м³/ч; средний дебит откачных скважин – 15,9 м³/ч; в недра закачено 641,6 тыс. м³ растворов; средняя производительность блока по

закачным растворам составила 62,8 м³/ч; средняя приемистость закачных скважин – 3,5 м³/ч.

Динамика объемов добычи урана по блоку в целом, а также изменения степени извлечения по месяцам и с начала работ представлены на рис. 7.

При определении степени извлечения урана принимались запасы, пересчитанные по результатам контрольного бурения скважин.

Таким образом, в результате проведенных расчетов в целом по технологическому блоку были получены следующие показатели. Общая добыча урана составила 196,3 т, степень извлечения – 49,5 %, это с высокой степенью достоверности совпадает с расчетными проектными показателями. Отмеченные ранее особенности выщелачивания урана на технологическом блоке объясняются высокими содержаниями урана в руде и большой удельной продуктивностью, равной 16,68 кг/м².

Такая достаточно эффективная работа технологического блока связана с формой нахождения урана в руде, которая отличается не только составом урановых минералов, но и характером их распределения – подавляющая часть урана в рудах технологического блока находится в легкоизвлекаемой форме в рыхлом, проницаемом, дезинтегрируемом поровом заполнителе песчаных и песчано-гравийных пород, концентрируется в виде псевдоморфоз по обугленному растительному детриту, в кавернах, микротрещинах и микропорах песчаных и гравийных зерен и галек. Поэтому в первую очередь выщелачиванию подвергаются легкорастворимые минералы из пород с повышенной проницаемостью. Затем в процесс включаются трудновскрываемые минералы с высокими содержаниями урана, где урановые минералы представлены микроглобулями и веретеновидными образованиями, которые в результате перекристаллизации вещества образуют почковидные сферокристаллические агрегаты. На растворение этих минералов необходимо дополнительное время и требуются более высокие концентрации выщелачивающего реагента.

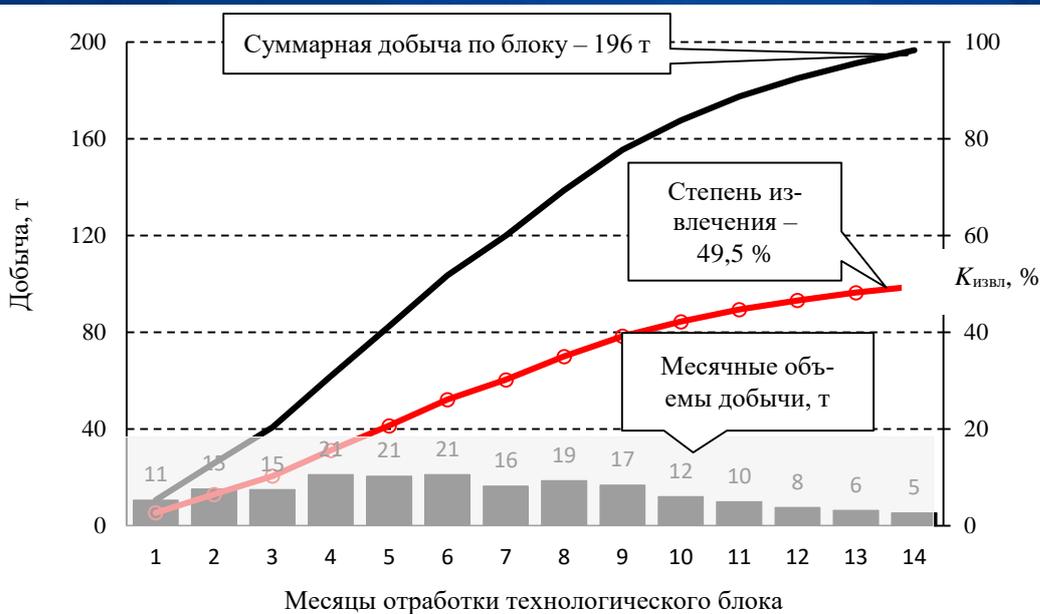


Рис. 7. Динамика изменения добычи и степени извлечения по технологическому блоку

Fig. 7. Production performance and recovery by production block – dynamic pattern as a function of time

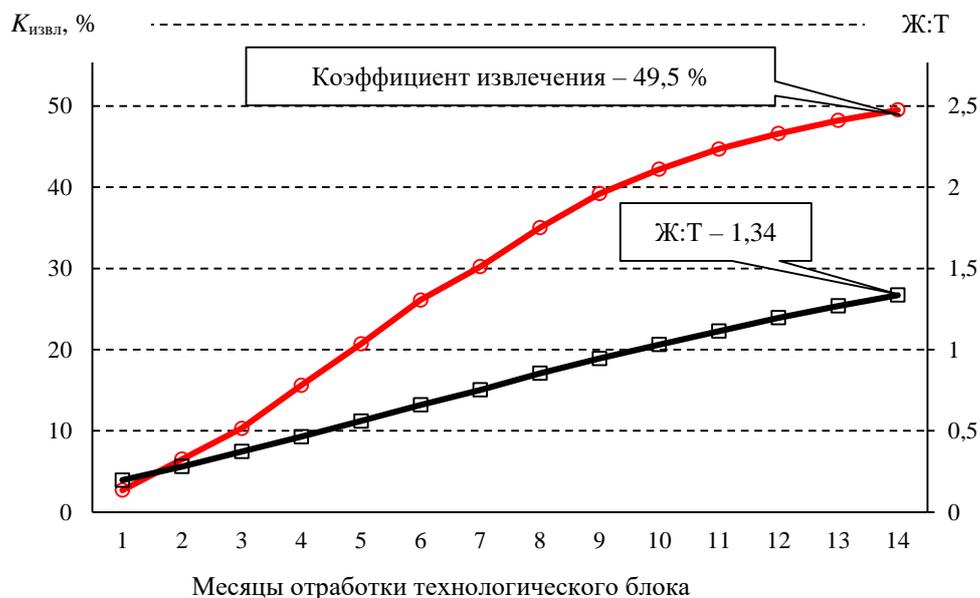


Рис. 8. Динамика изменения степени извлечения урана из недр и отношения Ж:Т в технологическом блоке

Figure 8. Uranium recovery from reserves and Liquid : Solid ratio in a production block depending on time

На основании анализа и обработки результатов контрольного бурения скважин и проведения вскрышных работ определены фактические отношения Ж:Т на ячейках технологического блока. Расчеты отношения Ж:Т выполнены с учетом фактического объема закисленной горнорудной массы, пересчитанной по результатам бурения контрольных скважин, дебитов откачных, приемистости за-

качных скважин и производительности технологического блока по продуктивным и выщелачивающим растворам в целом. В целом по технологическому блоку отношение Ж:Т составило 1,34, это выше проектного показателя на 61,4 %, что объясняется более высокими фактическими средними дебитами откачных скважин по сравнению с проектными, равными 15,1 и 10,0 м³/ч соответственно, а также фактически закисленной горнорудной массой,



которая несколько меньше расчетной – 535,4 против 542 т.

После обработки результатов контрольного бурения скважин и проведения комплексных работ определены фактические степени извлечения урана из недр на ячейках и технологическом блоке. Расчеты выполнены с учетом фактического состояния запасов на начало работ в технологическом блоке; фактического объема закисленной горнорудной массы, также как и запасов, пересчитанных по результатам контрольного бурения скважин; дебитов откачных, приемистости закачных скважин и производительности блока в целом; времени закисления; содержаний урана в продуктивных растворах откачных скважин и блока в целом; времени стадии выщелачивания. За 14 мес. работы блока извлечено 49,5 % (рис. 8).

Степень извлечения урана из недр достаточно неравномерна, при этом возможно построить корреляционную зависимость от отношения Ж:Т (рис. 9). По данной зависимости 90 % степени извлечения урана из недр достигается при отношении Ж:Т, близком к значениям 2,5–3,5. Время выщелачивания до достижения 85 % извлечения урана из недр колеблется от 2,0 до 6,2 года.

Принципы управления показателями расхода серной кислоты на выщелачивание определялись исходя из кислотности выщелачивающих растворов, их расхода по закачным скважинам каждой ячейки и в целом по технологическому блоку. Общий расход серной кислоты (100 %) и удельный расход серной кислоты на выщелачивание определен на основании ее расхода и попутной добычи урана (рис. 10).

Средний удельный расход серной кислоты на выщелачивание за отчетный период составил 25,4 кг/кгU. Удельные расходы серной кислоты на закисление составляют 1,5–3,2 кг/т ГРМ; на выщелачивание – 20–68 кг/кгU.

Колебания в удельных расходах серной кислоты по отдельным ячейкам и в целом по технологическому блоку в течение отчетного периода связаны в первую очередь с различными содержаниями урана в продуктивных растворах за каждый конкретный месяц работы блока при практически неизменной концентрации кислоты в выщелачивающих растворах.

Фактический удельный расход электроэнергии на раствороподъем определен на основании показаний счетчиков и объемов поднятых на поверхность растворов. Удельные расходы электроэнергии на 1 м³ поднятых растворов (рис. 11) зависят в основном от технического состояния откачной скважины – ее дебита.

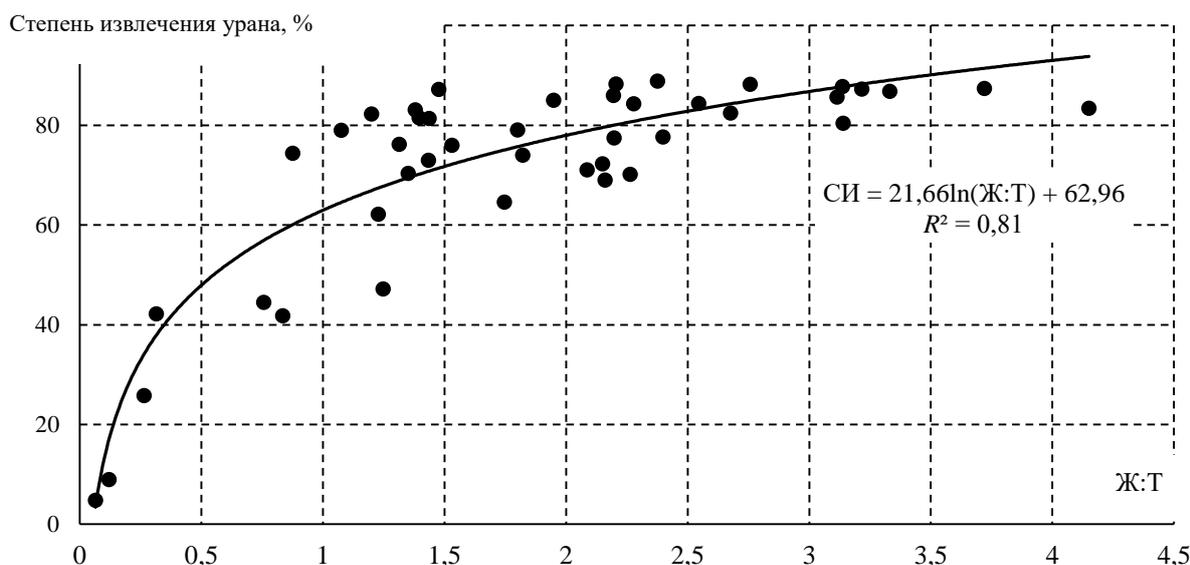


Рис. 9. Изменение степени извлечения урана (СИ), %, из недр от отношения Ж:Т

Fig. 9. Uranium recovery from reserves (UR, %) as a function of Liquid : Solid ratio in a production block

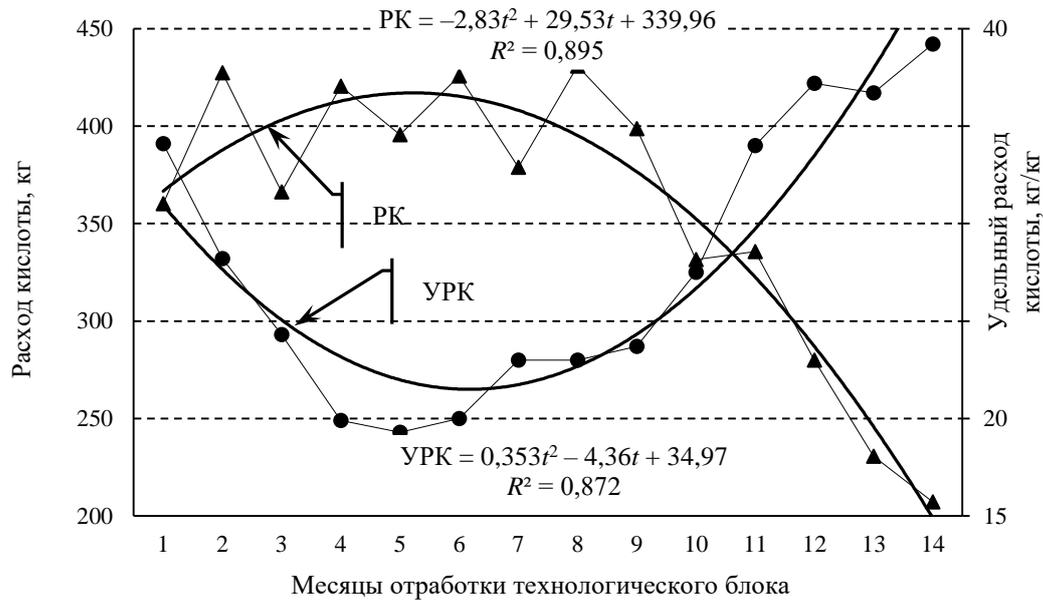


Рис. 10. Динамика расхода (PK), кг, и удельного расхода (YPK), кг H_2SO_4 /кгU, серной кислоты (100 %) на выщелачивание по технологическому блоку за время отработки

Fig. 10. Sulfuric acid (100%) consumption (SAC), kg, and specific consumption (SASC), kg H_2SO_4 /kg U for leaching in a production block depending on operation time

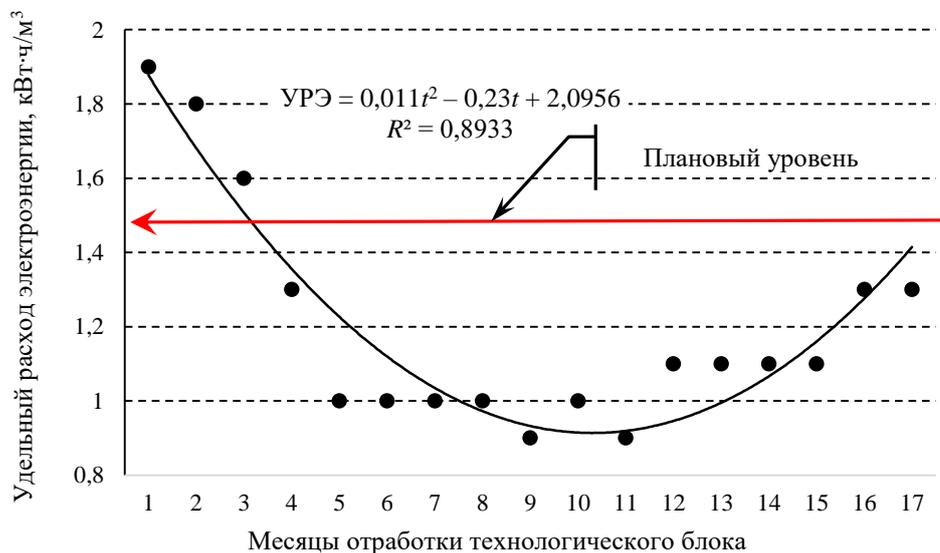


Рис. 11. Динамика удельного расхода электроэнергии (YPE), кВт·ч/м³, на раствороподъём

Fig. 11. Specific power consumption (SPC), kW·h/m³ for pregnant solution pumping out as a function of operation time

Основные геотехнологические показатели работы блока**The main geotechnological indicators of a block operation**

Наименование показателя	Значение показателя
Общая характеристика технологического блока	
Площадь, тыс. м ²	23,75
Средняя продуктивность, кг/м ²	16,68
Геологические запасы, т	397
Горнорудная масса, тыс. т	535,4
Схема расположения скважин	Гексагональная
Количество технологических скважин, шт.:	24
откачных	4
закачных	18
наблюдательных	2
Показатели стадии закисления технологического блока	
Режим закисления	Активный
Кислотность рабочих растворов, г/л	17–20
Дебит откачных скважин, м ³ /ч	≈ 11,1
Приемистость закачных скважин, м ³ /ч	≈ 2,5
Давление на устье закачной скважины, МПа	> 6,0
Время закисления, дней	65
Объем оборотных растворов – ПР (ВР), тыс. м ³	65,6 (68,2)
Характеристика продуктивных растворов на окончание стадии закисления:	
содержание урана, мг/л;	230
рН, ед. рН;	2,5
еН, мВ	245
Отношение Ж:Т при закислении, м ³ /т	0,122
Расход серной кислоты (100 %), т	1 002
Удельный расход кислоты (100 %), кг/т ГРМ	1,9
Показатели стадии выщелачивания технологического блока	
Время выщелачивания, мес.	14
Дебит откачных скважин, м ³ /ч	15,9
Приемистость закачных скважин, м ³ /ч	3,5
Давление на устье закачной скважины, МПа	> 6,0
Объем продуктивных растворов, тыс. м ³	649,1
Среднее содержание урана в продуктивных растворах, мг/л	303
рН продуктивных растворов, ед. рН	2,0
Количество урана в продуктивных растворах, т	197,306
Объем выщелачивающих растворов, тыс. м ³	641,6
Среднее содержание урана в выщелачивающих растворах, мг/л	1,1
Средняя кислотность выщелачивающих растворов, г/л	7,8
Количество урана в выщелачивающих растворах, т	0,706
Добыча урана, т	196,3
Степень извлечения урана из недр, %	49,5
Отношение Ж:Т при выщелачивании (с начала опыта), м ³ /т	1,34
Расход серной кислоты (100 %), т	4 989
Удельный расход кислоты (100 %), кг/кг	25,4



Таким образом, в результате исследований получены основные показатели проведенных в отчетный период работ по подземному скважинному выщелачиванию урана серно-кислотными растворами с подсчетом геологических запасов (табл. 7).

Выводы

Результаты выполненного анализа позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Проведен анализ технологической схемы промышленной отработки запасов урана методом подземного скважинного выщелачивания. Определены структуры взаимосвязей основных показателей функционирования технологических циклов предприятия и формализована задача управления технологическими блоками на стадиях закисления, активного выщелачивания, доработки и вывода из эксплуатации.

2. Полученные по результатам вскрытия рудного тела статистические характеристики ячеек технологического блока и распределения запасов урана, а также анализ динамики изменения добычи и степени извлечения по технологическому блоку, баланса производительностей технологического блока по продуктивным и выщелачивающим растворам

позволили рассчитать основные геотехнологические показатели. Полученные значения легли в основу формирования регрессионных взаимосвязей между степенью извлечения урана и соотношением Ж:Т, а также для рядов динамики удельных расходов серной кислоты и электроэнергии, что позволило определить проблемные зоны и перспективные направления совершенствования процесса управления и повышения эффективности функционирования технологического полигона рудника подземного скважинного выщелачивания.

3. Полученные взаимосвязи и основные геотехнологические показатели позволили с высокой степенью вероятности прогнозировать дальнейшую эффективную отработку месторождения. По полученным данным результатов промышленной отработки запасов урана на технологических блоках процессы ПСВ можно охарактеризовать как достаточно интенсивные, а результаты эксплуатации рудных тел следует признать весьма эффективными и привлекательными как с технологической стороны, так и с экономической точки зрения, что существенно расширяет минерально-сырьевую базу отрасли.

Библиографический список

1. U₃O₈ Production Review. *Ux Weekly*. 2010;22(10). March 10.
2. Woods P., Pool T., Beneš V., Gorbatenko O., Jones B., Märten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 138.
3. Назарова З. М., Овсейчук В. А., Лемента О. Ю. Рынок урана: современное состояние, проблемы и перспективы его развития. *Проблемы современной экономики*. 2016;(2):159–162.
4. Святецкий В. С., Солодов И. Н. Стратегия технологического развития уранодобывающей отрасли России. *Горный журнал*. 2015;(7):68–77. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.10.
5. Derek M. Insight: Uranium is in a holding pattern. *Commodity Insights Bulletin*; 2015. 8 p.
6. Arnold N., Gufler K. The future of Nuclear Fuel Supply. In: *Proceedings of the 1st INRAG Conference on Nuclear Risk*. 16–17 April 2015. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna; 2015. P. 1–27.
7. *The Global Nuclear Fuel Market. Supply and Demand 2011–2030*. WNA report; 2011. 236 p.
8. Голик В. И., Култышев В. И. История и перспективы выщелачивания урана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011;(7):138–143.
9. Постановление Правительства Республики Казахстан от 20.08.2002 № 926 «О концепции развития урановой промышленности и атомной энергетики Республики Казахстан на 2002–2030 годы».
10. Рогов Е. И., Языков В. Г., Рогов А. Е. Оптимизация подготовленных и готовых к выемке запасов на рудниках подземного скважинного выщелачивания урана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. МГГУ. 2002;(4):149–150.



11. Сакирко Г. К., Носков М. Д., Истомин А. Д. Оптимизация обработки блоков при добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания. *IV Международная школа-конференция молодых атомщиков Сибири*: Сб. тез. докл. 23–25 октября 2013 г. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та; 2013. С. 30.
12. Джакупов Д. А. Повышение эффективности добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания. *Международная научно-техническая конференция «Инновационное развитие горнодобывающей отрасли»*. Кривой Рог; 2016. С. 130–133.
13. Юсупов Х. А., Джакупов Д. А., Башилова Е. С. Повышение эффективности обработки сложных гидрогенных месторождений урана с применением пероксида водорода. *Горный журнал*. 2018;(2):18–21.
14. Polack C. Uranium exploration (2004–2014): New discoveries, new resources. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 8–9.
15. Живов В. Л., Бойцов А. В., Шумилин М. В. *Уран: геология, добыча, экономика*. М.: Атомредметзолото; 2012. 301 с.
16. Каримов И. А., Хакимов К. Ж. Разработка сложноструктурного уранового оруденения подземного выщелачивания. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(9):67–69.
17. 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.
18. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 172.
19. Акынов Г. Б., Алыбаев Ж. А. Изучение влияния пероксида водорода на выщелачивание урана кислотным способом в условиях месторождения «Ирколь». *Вестник КазННТУ*. Алматы. 2016;(1):493–497.
20. Волков В. П. *Сорбционные процессы действующих производств*. М.: Издательский дом «Руда и металлы»; 2014. 160 с.
21. Аренс В. Ж., Гридин О. М., Крейнин Е. В. и др. *Физико-химическая геотехнология*. Учебник для вузов. М.: Горная книга; 2010.
22. Верхотуров А. Г., Сабигатулин А. А. Интенсификация добычи урана при использовании комплекса обработки прифилтровых зон геотехнологических скважин. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(7):13–20. DOI: 10.25018/02361493-2019-07-0-13-20.
23. Самойлов В. И., Садуакасова А. Т. Гидроминеральное урансодержащее сырье. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(6):96–104.
24. Титова С.М. *Разработка технологии сорбционного извлечения урана из сульфатно-хлоридных растворов скважинного подземного выщелачивания*. Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.02. Екатеринбург; 2018.
25. Аликулов Ш. Ш., Собиров Ж., Хайдарова М. Э. Исследования и внедрение способов ограничения растекания продуктивных растворов и интенсификации технологических процессов подземного выщелачивания. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2018;(3):100–106.
26. Юсупов Х. А., Джакупов Д. А., Назарбаева Н. А. Выбор схемы и параметров скважин технологического блока. *Международная научно-практическая конференция «Научное и кадровое сопровождение инновационного развития горно-металлургического комплекса»*. Алматы; 2017. С. 168–170.
27. Mataev M. M., Rakishev B. R., Kenzhetaev G. S. The impact of ammonium bifluoride complex on colmatating formations during the process of in situ uranium leaching. *International journal of advanced research*. 2017;(5):147–154.
28. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Габараев О. З. Геофизическое обеспечение технологий выщелачивания урана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(7):112–121.
29. *Uranium Resources, Production and Demand International: Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Boulogne-Billancourt France*. A Joint Report. Organisation for economic cooperation and development; 2018. 462 p.
30. Оракбаев Е. Ж. *Исследование и разработка эффективных систем управления процессом подземного выщелачивания*. Дис. д-ра техн. наук. Алматы: КНИТУ им. К.И. Сатпаева; 2017. 117 с.
31. Ahmed Saleh, Elldakli Fathi, McElroy Phillip. Simulation techniques used for modeling horizontal wells and the role of grid refinement. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. 2019;8(3):80–84.
32. Solodov I. N. In Situ Leach Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine, Russian Federation. In: *URAM-2014. IAEA. International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environment issues*. 23–27 June. Vienna, Austria; 2014.



33. Молчанов А. А., Демехов Ю. В. Повышение эффективности добычи урана из месторождений гидротермального типа, разрабатываемых методом подземного скважинного выщелачивания Республики Казахстан (на примере месторождения восточный Мынкудук). *Актуальные проблемы урановой промышленности. VII международная конференция*. Сб. науч. работ. Алматы: НАК Казатомпром; 2014. С. 92–98.

34. Сатыбалдиев Б. С., Уралбеков Б. М., Буркитбаев М. М. Оценка эффективности использования фильтрационного выщелачивания для извлечения урана из урановой руды. *Вестник КазНУ имени Аль-Фараби*. 2015;(3):23–27.

35. Матаев М. М., Кенжетаев Ж. С. Новые подходы регенерации скважин при подземном выщелачивании урана. Инновации в комплексной переработке минерального сырья. Сб. науч. работ. *Международная научно-практическая конференция Абишевские чтения-2016*. Алматы; 2016. С. 138–142.

36. Носков М. Д., Кеслер А. Г., Теровская Т. С., Бабкин А. С., Посохова Е. М. Экологический мониторинг и прогнозирование состояния недр при добыче урана в ЗАО «Далур». *Роговские чтения: проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий*. Сб. тр. конф., 7–9 апреля. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета; 2015. С. 208–211.

37. Ракишев Б. Р., Матаев М. М., Кенжетаев Ж. С. Исследование минералогического состава осадкообразований в условиях скважинной добычи урана. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(7):123–131. DOI: 10.25018/0236-14932019-07-0-123-131.

38. Поезжаев И. П., Полиновский К. Д., Горбатенко О. А. и др. *Геотехнология урана*. Учеб. Пособие. Под общ. ред. Ю. В. Демехова, Б. М. Ибраева. Алматы; 2017. 327 с.

References

1. U₃O₈ Production Review. *Ux Weekly*. 2010;22(10). March 10.
2. Woods P., Pool T., Beneš V., Gorbatenko O., Jones B., Märten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 138.
3. Nazarova Z. M., Ovseychuk V. A., Lementa O. Yu. Uranium market: current state, problems and prospects of development. *Problemy sovremennoy ekonomiki*. 2016;(2):159–162. (In Russ.).
4. Svyatetskiy V. S., Solodov I. N. The strategy of technological development of uranium mining industry of Russia. *Gornyi zhurnal*. 2015;(7):68–77. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.10. (In Russ.).
5. Derek M. Insight: Uranium is in a holding pattern. *Commodity Insights Bulletin*; 2015. 8 p.
6. Arnold N., Guffler K. The future of Nuclear Fuel Supply. In: *Proceedings of the 1st INRAG Conference on Nuclear Risk*. 16–17 April 2015. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna; 2015. P. 1–27.
7. *The Global Nuclear Fuel Market. Supply and Demand 2011–2030*. WNA report; 2011. 236 p.
8. Golik V. I., Kultyshev V. I. History and prospects of uranium leaching. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2011;(7):138–143. (In Russ.).
9. Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 926 of 20.08.2002 "On the concept for development of uranium industry and nuclear power industry of the Republic of Kazakhstan for 2002–2030". (In Russ.).
10. Rogov E. I., Yazikov V. G., Rogov A. E. Optimization of prepared for extraction reserves at uranium drillhole in-situ leaching mines. *Mining Information and Analytical Bulletin*. MGGU Publishing House 2002;(4):149–150. (In Russ.).
11. Sakirko G. K., Noskov M. D., Istomin A. D. Optimization of extracting blocks in the process of ISL uranium production. In: *Proceedings of the IV International Conference for Young Nuclear Scientists of Siberia*. October 23–25. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnical University; 2013. P. 30 (In Russ.).
12. Dzhakupov D. A. Improving efficiency of uranium ISL production. In: *Proceedings of International Scientific and Technical Conference "Innovative Development of Mining Industry"*. Kryvyi Rih; 2016. P. 130–133. (In Russ.).
13. Yusupov H. A., Dzhakupov D. A., Bashilova E. S. Improving efficiency of complicated hydrogenic uranium deposit development due to the use of hydrogen peroxide. *Gornyi Zhurnal*. 2018;(2):18–21. (In Russ.).
14. Polack C. Uranium exploration (2004–2014): New discoveries, new resources. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 8–9.
15. Zhivov V. L., Boytsov A. V., Shumilin M. V. *Uranium: geology, mining, economics*. Moscow: Atomred-metzoloto; 2012. 301 p. (In Russ.).



16. Karimov I. A., Khakimov K. Zh. Extraction of uranium mineralization of complicated structure by drill-hole in-situ leaching. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2015;(9):67–69. (In Russ.).
17. 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.
18. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 172.
19. Akynov G. B., Alybaev Zh. A. Studying the effect of hydrogen peroxide on uranium leaching by the acid method in the conditions of Irkol deposit. *Vestnik KazNRTU*. Almaty, 2016;(1):493–497. (In Russ.).
20. Volkov V. P. *Sorption processes at existing productions*. Moscow: Publishing House "Ruda i Metally"; 2014. 160 p. (In Russ.).
21. Arens V. Zh., Gridin O. M., Kreinin E. V. et. al. *Physico-Chemical Geotechnology*. Textbook for Higher Educational Institutions. Moscow: Gornaya Kniga Publ.; 2010. (In Russ.).
22. Verkhoturov A. G., Sabigatulin A. A. Intensification of uranium production using processing of filtering zones of geotechnological boreholes. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(7):13–20. DOI: 10.25018/02361493-2019-07-0-13-20. (In Russ.).
23. Samoilov V. I., Saduakasova A. T. Hydro-mineral uranium-containing resources. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2015;(6):96–104. (In Russ.).
24. Titova S. M. *Development of the process for sorption uranium extraction from ISL sulfate-chloride pregnant solutions*. Ph.D. thesis in Engineering Science. 05.17.02. Yekaterinburg; 2018 (In Russ.).
25. Alikulov Sh. Sh., Sobirov Zh., Khaidarova M. E. Studies and implementation of methods for restraining spreading of pregnant solutions and intensification of ISL technological processes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2018;(3):100–106. (In Russ.).
26. Yusupov H. A., Dzhakupov D. A., Nazarbayeva N. A. Selection of arrangement and parameters of a production block boreholes. In: *International research-to-practice conference "Scientific and personnel support of innovative development of mining-and-metallurgical industry"*. Almaty; 2017. P. 168–170. (In Russ.).
27. Mataev M. M., Rakishev B. R., Kenzhetaev G. S. The impact of ammonium bifluoride complex on colmatage formations during the process of in situ uranium leaching. *International journal of advanced research*. 2017;(5):147–154.
28. Golik V. I., Zaalishvili V. B., Gabaraev O. Z. Geophysical support of uranium leaching processes. *Information and Analytical Bulletin*. 2014;(7):112–121. (In Russ.).
29. *Uranium Resources, Production and Demand International: Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Boulogne-Billancourt France*. A Joint Report. Organisation for economic cooperation and development; 2018. 462 p.
30. Orakbaev E. Zh. *Research and development of effective underground leaching process control systems*. Doctoral thesis in Engineering Science. Almaty, KazNITU named after K.I. Satpayev; 2017. 117 p. (In Russ.).
31. Ahmed Saleh, Elldakli Fathi, McElroy Phillip. Simulation techniques used for modeling horizontal wells and the role of grid refinement. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. 2019;8(3):80–84.
32. Solodov I. N. In Situ Leach Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine, Russian Federation. In: *URAM-2014. IAEA. International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environment issues*. 23–27 June. Vienna, Austria; 2014.
33. Molchanov A. A., Demekhov Yu. V. Improving efficiency of uranium ISL production from deposits of hydrogenic type in the Republic of Kazakhstan (case study of the Vostochny Mynkuduk deposit). In: *Actual problems of uranium industry. Proceedings of VII International Conference*. Almaty, NAC Kazatomprom; 2014. P. 92–98. (In Russ.).
34. Satybaldiev B. S., Uralbekov B. M., Burkitbaev M. M. Performance evaluation for filtration leaching for extraction of uranium from uranium ore. *Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University*. 2015;(3):23–27. (In Russ.).
35. Mataev M. M., Kenzhetaev Zh. S. New approaches to borehole regeneration in uranium ISL process. In: *Innovations in integrated processing of minerals: Proceedings of the Abishev International Research-to-Practice Conference-2016*. Almaty; 2016. P. 138–142. (In Russ.).
36. Noskov M. D., Kesler A. G., Terovskaya T. S., Babkin A. S., Posokhova E. M. Environmental monitoring and prediction of the subsoil conditions during uranium production at CJSC Dalur. In: *Proceedings of Rogov Scientific Conference: Problems of Engineering Geology, Hydrogeology and Geoecology of Urbanized Territories*. April 7–9 2015. Tomsk: Publishing House of Tomsk State Architecture and Building University; 2015. P. 208–211. (In Russ.).



37. Rakishev B. R., Mataev M. M., Kenzhetaev Zh. S. Investigation of mineralogical composition of sedimentation in conditions of uranium ISL. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(7):123–131. DOI: 10.25018/0236-14932019-07-0-123-131. (In Russ.).

38. Poezjaev I. P., Polinovsky K. D., Gorbatenko O. A. et al. *Uranium Geotechnology*. Manual for graduate students. Demekhov Yu. V., Ibraev B. M. (eds.). Almaty; 2017. 327 p. (In Russ.).

ORIGINAL PAPERS / ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161

Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках

Крамаров С. О., Митясова О. Ю.

Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия;

✉maoovo@yandex.ru

Аннотация: Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при реализации геологоразведочных работ во многом определяют их эффективность. Поэтому разработка нового методического обеспечения использования данных ДЗЗ в прогнозировании горно-геологических условий является актуальным направлением. Исследования основываются на анализе оценки информационной, социальной и экономической эффективности применения данных ДЗЗ на месторождениях полезных ископаемых. Отмечена роль применения новых технологий (в том числе дистанционных) в процессе оптимизации начальных стадий геологоразведочного процесса. Показаны возможности использования данных ДЗЗ для оценки общего характера, направленности и масштабов изменения природной среды под влиянием разработки месторождений. Предлагается методика, которую можно использовать в процессе отслеживания изменений топологии объектов при добыче полезных ископаемых. Рассмотрены различия в результатах, получаемых при использовании предлагаемой методики обработки спутниковых изображений на прямоугольном и гексагональном растре. Отмечены преимущества применения шестиугольной решетки для отслеживания границ объектов и формирования признаков. Приведены практические примеры из числа обработанных при помощи предлагаемой методики спутниковых изображений из открытых источников. Результаты, полученные в данном исследовании, позволяют осуществлять интеллектуальный анализ данных спутниковых снимков с последующей идентификацией объектов земной поверхности, интересующих исследователя. Показан пример использования полученных результатов совместно со специализированными программными средствами (такими как картографическая геоинформационная система GIS INTEGRO с возможностями решения геологических задач или зарубежная система ArcGIS) для построения контурных карт территории и получения ее описания на основе топологических отношений и метрической информации.

Ключевые слова: объект, добыча полезных ископаемых, спутниковый снимок, данные дистанционного зондирования Земли, бинарное изображение, код Фримена, топология.

Благодарность: Работа выполнена по Госзаданию ХМАО – Югры (Сургутский государственный университет).

Для цитирования: Крамаров С. О., Митясова О. Ю. Отслеживание изменений топологии объектов добычи полезных ископаемых на прямоугольных и гексагональных решетках. *Горные науки и технологии.* 2020;5(2):154-161. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161.

Tracking Changes in Mining Object Topology on Rectangular and Hexagonal Grids

S. O. Kramarov, O. Yu. Mityasova

Surgut State University, Surgut, Russia;

✉maoovo@yandex.ru

Abstract: The Earth remote sensing technologies (ERS) in exploration largely determine their effectiveness. Therefore, development of a new methodological support for the use of remote sensing data in predicting mining and geological conditions is a key priority area. The studies are based on the analysis of the assessment of information, social, and economic efficiency of remote sensing data application at mineral deposits. The role of application of new technologies (including remote ones) in the process of optimizing initial exploration stages is noted. The possibilities of using remote sensing data to assess general nature, direction, and extent of environmental changes due to mining activities are shown. A technique is proposed that can be used in the process of tracking changes in the topology of objects in the course of mining. The differences in the results obtained using the proposed technique for processing satellite images on rectangular and hexagonal grids (rasters) are considered. The advantages of using the hexagonal grid for tracking the boundaries of objects and formation of signs are shown.





Practical examples – a number of open source satellite images processed using the proposed method – are presented. The study findings allow applying intelligent analysis of satellite imagery data with the subsequent identification of the earth's surface objects of interest. An example of using the obtained results together with specialized software tools (such as GIS INTEGRO geographic information system capable of solving geological problems, or the foreign ArcGIS system) for constructing contour maps of the territory and obtaining its description based on topological relations and metric information is shown.

Keywords: object, mining, satellite imagery, the Earth remote sensing data, binary image, Freeman code, topology.

Acknowledgement: The study was performed as assigned by KhMAD-Yugra (State Order) (Surgut State University).

For citation: Kramarov S. O., Mityasova O. Yu. Tracking changes in mining object topology on rectangular and hexagonal grids. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):154-161. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-154-161.

Введение

Геологоразведочная отрасль – важнейшая составная часть минерально-сырьевого комплекса, обеспечивающая создание и воспроизводство сырьевой базы для успешной работы и перспективного развития добывающих отраслей. Управление геологическим изучением недр является составной частью управления недропользованием.

Общей целью геологоразведочных работ является научно обоснованное, планомерное и экономически эффективное обеспечение добывающей промышленности разведанными запасами полезных ископаемых, изучение способов их полной, комплексной и экономически рациональной выемки в процессе эксплуатации месторождений с учетом охраны окружающей среды. Геологическая служба, геологические организации также оказывают услуги по изучению недр при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, для нужд сельского хозяйства. Инженерно-геологическое изучение отдельных районов, территорий также необходимо для подготовки подземного захоронения вредных веществ и отходов производства, сброса сточных вод и решения других вопросов.

Разведка месторождений полезных ископаемых [3, 5, 10, 12] относится к сложным и комплексным задачам, для эффективного решения которых специалисту требуется максимально возможный объем актуальной информации об исследуемом объекте или участке [11].

Геологическое картографирование, включающее изучение элементов ландшафта, различных образований, недр, можно считать фундаментом любой геологоразведочной программы. Этот процесс дает возможность получить информацию о физических процессах формирования и изменения земной коры. А с помощью данных дистанционного зондирования в сочетании с информацией из других источников исследователи получают доступ к такой важной информации, как, например, сведения о составе и видоизменении пород, литологии, топографии поверхности, геоморфологии [11].

В настоящее время многовариантная система видов и способов получения и отображения геологической информации, среди которой информация из космоса занимает одно из ведущих мест, открывает возможность дальнейшей оптимизации начальных стадий геологоразведочного процесса. Внедрение материалов аэрокосмических съемок в теорию и практику геологии привело к совершенствованию методов региональных геологических исследований, а также к повышению качества карт геологического содержания.

Цели и задачи

В России имеется потенциал для применения космических технологий [18] в геологоразведке [3, 5, 10, 12, 17]. Развитие технологий, используемых горнопромышленными предприятиями [26], и новых геологических методов [17], в том числе дистанционных, позволяет в короткие сроки и по максимально большому террито-

риям дать оценку перспектив обнаружения месторождений. Разведка из космоса позволяет значительно оптимизировать процессы поиска полезных ископаемых. Применение методов ДЗЗ [6, 14] позволяет уменьшить стоимость геологоразведочных работ в результате проведения комплексных исследований обширных территорий, которые довольно часто недоступны для традиционных методов геологоразведки по тем или иным причинам [13]. Однако, несмотря на это, требуется государственная и инвестиционная поддержка (рис. 1).

На государственном уровне разрабатываются стратегии развития минерально-сырьевой

базы Российской Федерации. Поставлена цель создания «условий для устойчивого обеспечения минеральным сырьем социально-экономического развития и поддержания достаточного уровня экономической и энергетической безопасности Российской Федерации» [23, 25]. В России на геологоразведку в бюджете 2016 г. было выделено в целом около 35 млрд руб. В 2018 г. на проведение геологоразведочных работ на углеводородное сырье было направлено 14,3 млрд руб. бюджетных средств, на твердые полезные ископаемые – 5,8 млрд руб.

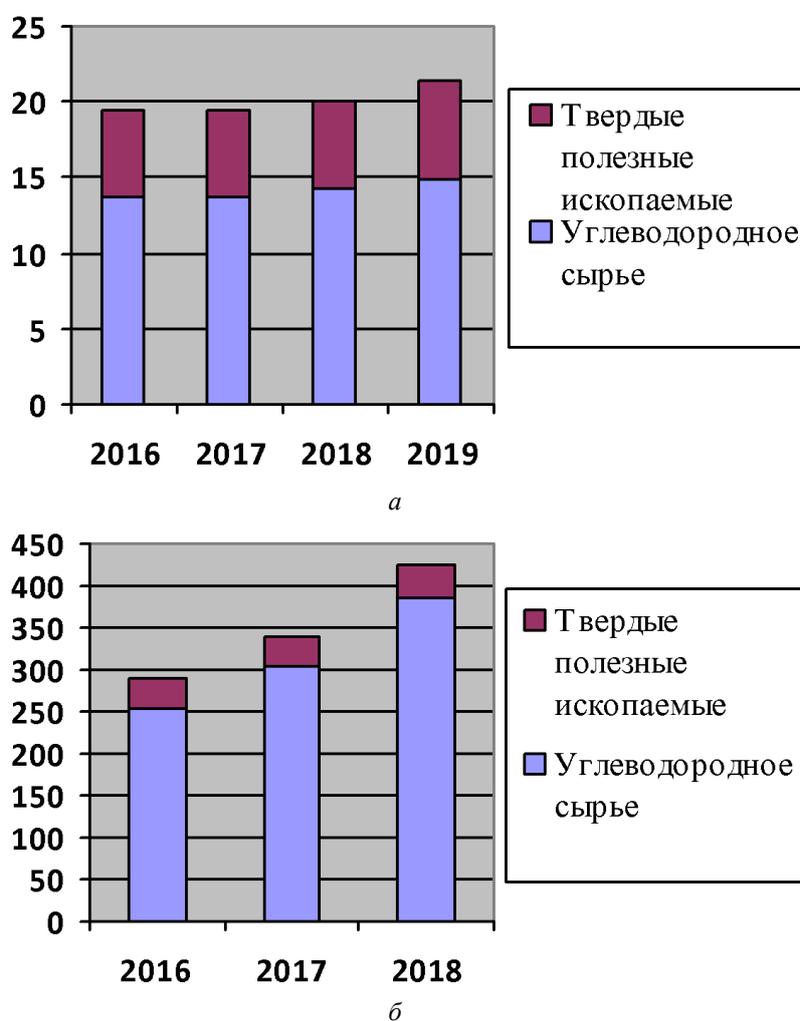


Рис. 1. Финансирование работ по геологической разведке:

a – затраты федерального бюджета, млрд руб.; *б* – затраты из внебюджетных источников, млрд руб.

Fig. 1. Exploration funding:

a – federal budget funding, bln rubles; *b* – extrabudgetary funding, bln rubles.



Рис. 2. Исходный снимок из открытых источников (Ставропольский край, Красногвардейский район)

Fig. 2. Original image from open sources (Stavropol Territory, Krasnogvardeisky district)

Данные дистанционного зондирования играют особую роль в прогнозировании горно-геологических условий. Сопоставление карт геодинамических зон (и зон древних разломов) с планами горных работ позволяет сделать вывод о приуроченности вывалов и других горно-геологических осложнений к вертикальной проекции локальных зон повышенной трещиноватости. Установлено, что около 90 % вывалов расположено в пределах таких зон, причем 70 % приурочено к их пересечениям (узлам).

На основе различного рода прогнозных решений может быть оценен не только экономический ущерб от изъятия территории месторождения из обращения, но и ожидаемая рентабельность его разработки.

Наиболее полное и рациональное использование данных ДЗЗ возможно лишь в комплексе с традиционными геологическими, геофизическими и геохимическими исследо-

ваниями. В этом направлении необходима разработка четкого технологического процесса синтеза и обработки разнородной, но одинаково важной в геологическом и поисковом отношении информации.

Целью исследования является оценка возможности использования методики для отслеживания границ объектов на изображениях, получаемых с космических аппаратов, для обработки данных дистанционного зондирования в прогнозировании горно-геологических условий.

Методы и ход исследования

Рассмотрим практический пример реализации разработанного подхода. Для этой цели выберем доступные данные из открытых источников. На рис. 2 представлен пример снимка, обработанный при помощи предлагаемой методики [1].

Сохраненный снимок был загружен в специальные программы, в которых реализована методика [1, 20] (рис. 3).

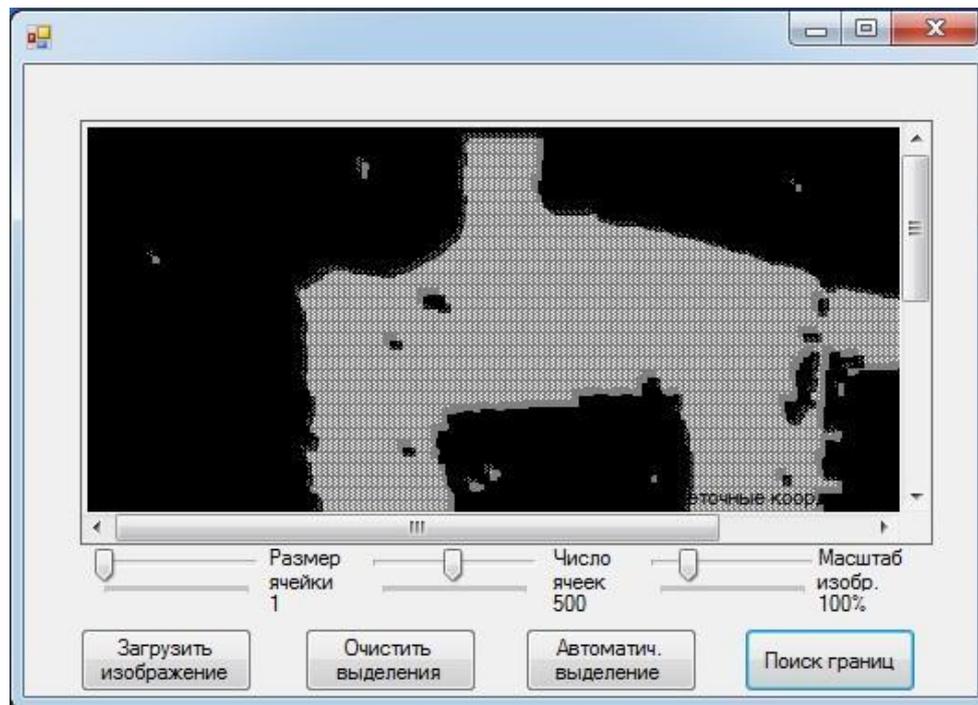


Рис. 3. Преобразованный к двухградационному (бинарному) виду исходный снимок, перенесенный на гексагональную сетку

Fig. 3. Original image converted to a two-gradation (binary) form, transferred to hexagonal grid



Рис. 4. Результаты отслеживания контура объекта:
 а – на прямоугольной сетке; б – на шестиугольной сетке

Fig. 4. Object contour tracking results:
 а – on rectangular grid; б – on hexagonal grid

Согласно предлагаемой методике [1, 20] отслеживаются контуры объектов с использованием цепного кода Фримена по связности 6 (для гексагонального растра [7, 19, 22]) или по связности 4 (для прямоугольного растра [1, 20, 21]). Далее определяются координаты x , y (на шестиугольной решетке определяется также координата $z = x + y$) для каждой точки,

принадлежащей контуру, и выделяются точки начала обхода контуров, в качестве которых используются крайние. На Рис. 4 показаны полученные на прямоугольной и шестиугольной сетках результаты отслеживания контура объекта, запечатленного на тестовом изображении.



Результаты

Топологические [4] характеристики протяженных (например, полигональных) объектов «могут быть представлены в виде графов покрытий и смежности. Граф покрытия гомоморфен контурной карте соответствующей местности. Ребра графа – границы районов, узлы – точки смыкания районов. Степень вершины такого графа – число районов, которые в ней смыкаются. Граф смежности — это как бы вывернутый на изнанку граф покрытия. В нем районы отображаются узлами (вершинами), а пара смыкающихся районов – ребрами» [2].

Рассмотренные в предыдущем разделе результаты позволяют использовать интел-

лектуальный анализ данных ДЗЗ [16]. Результаты исследования также могут быть использованы совместно со специальными программными средствами (например, ArcGIS или [15]) для построения карт (в том числе и контурных) соответствующей территории и получения топологических моделей (рис. 5).

Топологические модели используют, когда решение задачи предполагает наличие информации о топологических отношениях. С помощью подобной модели можно достаточно полно описать моделируемую территорию, используя как топологические отношения, так и метрическую информацию.

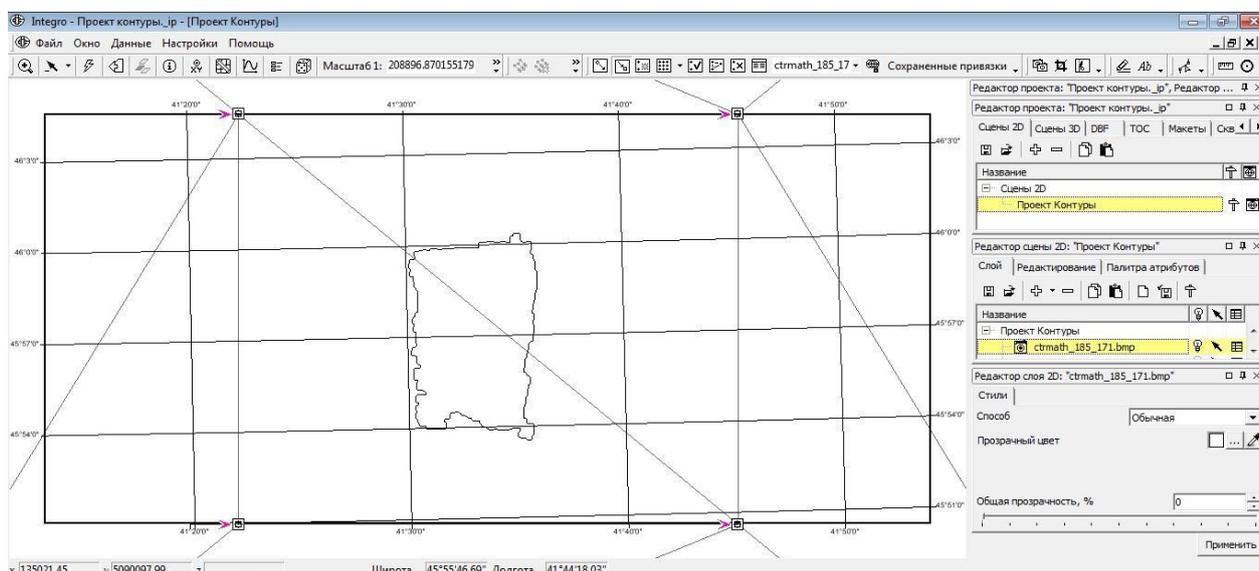


Рис. 5. Использование контурных изображений и [15] для построения карт территории

Fig. 5. Applying contour images and [15] for creating a territory maps

Заключение

Простота предлагаемого метода позволяет еще более полно и рационально использовать данные, получаемые с космических аппаратов. Удешевление геолого-съёмочных и поисковых работ (за счет частичной замены дорогостоящих наземных полевых исследований более дешевым камеральным дешифрированием и более рацио-

нальной постановки разведочных и эксплуатационных работ), в свою очередь, вносит вклад в получение экономического эффекта от применения данных ДЗЗ. Многовариантность, возможность применения экспресс-информации и относительная дешевизна дистанционных методов обеспечивают эффективность их применения в соответствии с требованиями любого инвестора.

Библиографический список

1. Крамаров С. О., Храмов В. В., Митясова О. Ю. Спутниковая идентификация объектов добычи полезных ископаемых на месторождениях, разрабатываемых открытым способом. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(5):72–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-72-79.
2. Иванов В. А., Смирнов В. А. *Геоинформационные системы, общий курс*. Ставрополь; 2000.
3. Gandhi S. M., Sarkar B. C. *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, Amsterdam; 2016. 410 p. DOI: 10.1016/C2015-0-04648-2.
4. *Основы топологии* [Электронный ресурс]. Создание и публикация карт, аналитики и данных. Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/topologies/topology-basics.htm>. [Дата обращения: 28.01.2020].
5. Haldar S. K. *Mineral Exploration. Principles and Applications*. Elsevier, Amsterdam; 2018. 378 p. DOI: 10.1016/C2017-0-00902-3.
6. Bobrowsky P. T., Marker B. *Encyclopedia of Engineering Geology*. Springer, Cham; 2018. 978 p. DOI: 10.1007/978-3-319-12127-7.
7. Крамаров С. О., Храмов В. В., Митясова О. Ю., Грошев А. Р. Способ контурного кодирования моделей объектов геоинформационного пространства на гексагональных решетках на основе данных ДЗЗ. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: тез. докл. Всерос. конф.* Москва, 11–15 ноября. М.; 2019. С. 40.
8. Middleton L., Sivaswamy J. The FFT in a hexagonal image processing framework. *Proceedings of Image and Vision Computing*; 2001. P. 231–236.
9. Wu H. S. Hexagonal discrete cosine transform for image coding. *Electronics Letters*. 1991;27(9):781–783.
10. Revuelta M. B. *Mineral Resources. From Exploration to Sustainability Assessment*. Springer, Cham; 2019. 653 p. DOI: 10.1007/978-3-319-58760-8.
11. Верховзин С. С. Дистанционное зондирование в разведке и других областях. *Золотодобыча*. 2018;4(233):36–39.
12. Roonwal G. S. *Mineral Exploration: Practical Application*. Springer, Singapore; 2018. 298 p. DOI: 10.1007/978-981-10-5604-8.
13. *Геология и горная промышленность* [Электронный ресурс]. ГИС технологии: интеграция геоинформационных систем – Совзонд. Режим доступа: <https://sovzond.ru/industry-solutions/geology-mining>. [Дата обращения: 10.02.2020].
14. Шовенгердт Р. А. *Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений* [пер. с англ.] М.: Техносфера; 2010. 560 с.
15. *ГИС INTEGR0. Геоинформационные технологии для природопользования* [Электронный ресурс]. отделение Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». М.: ВНИГНИ; 2018-2020. Режим доступа: <http://www.gis-integro.ru>. [Дата обращения 24.09.2019].
16. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. *Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition Selected Cases in Geophysics*. Amsterdam: Elsevier; 2020. 330 p.
17. Marjoribanks R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2010. 248 p. DOI: 10.1007/978-3-540-74375-0.
18. Барталаев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН; 2016. 208. с.
19. *Hexagonal Grids*. Red Blob Games from Amit Patel. Режим доступа: <https://www.redblob-games.com/grids/hexagons>. [Дата обращения: 13.02.2020].
20. Крамаров С. О., Грошев А. Р., Каратаев А. С. и др. Возможности автоматизации контурного распознавания и идентификации объектов земной поверхности. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: тез. докл. Всерос. конф.* Москва, 12–16 ноября 2018 г. М.; 2018. С. 414.
21. Храмов В. В., Гвоздев Д. С. *Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие*. В 2 ч. Ч. 2: Интеллектуальный анализ данных. Рост. гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д; 2012. 134 с.
22. Nagy B. Shortest Paths in Triangular Grids with Neighbourhood Sequences. *Journal of Computing and Information Technology*. 2003;11(2):111–122. DOI: 10.2498/cit.2003.02.04.
23. Панов Р. С. Развитие геологоразведки – залог стабильного экономического развития России. *Аналитический вестник*. 2014;16(534):7–16.
24. Hofmann P., Tiede D. Image segmentation based on hexagonal sampling grids. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*. 2014;3(2S):173–177.
25. *Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года* [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812280093>. [Дата обращения: 14.02.2020].
26. Темкин И. О., Гончаренко А. Н. Проблемы моделирования взаимодействия интеллектуальных агентов на горнопромышленном предприятии. *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2014;4–2(183):252–259.

References

1. Kramarov S. O., Hramov V. V., Mityasova O. Yu. Satellite Identification of Mining Objects at Deposits Developed by Open-Cut Method. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019;(5):72–79. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-72-79. (In Russ.).
2. Ivanov V.A., Smirnov V.A. *Geoinformation systems, general course*. Stavropol; 2000. (In Russ.).
3. Gandhi S. M., Sarkar B. C. *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, Amsterdam; 2016. 410 p. DOI: 10.1016/C2015-0-04648-2.
4. *Fundamentals of Topology* [electronic source]. Creation and publication of maps, analytics and data. Available from: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/topologies/topology-basics.htm>. [Accessed: 28.01.2020]. (In Russ.).
5. Haldar S. K. *Mineral Exploration. Principles and Applications*. Elsevier, Amsterdam; 2018. 378 p. DOI: 10.1016/C2017-0-00902-3.
6. Bobrowsky P. T., Marker B. *Encyclopedia of Engineering Geology*. Springer, Cham; 2018. 978 p. DOI: 10.1007/978-3-319-12127-7.
7. Kramarov S.O., Hramov V.V., Mityasova O. Yu., Groshev A.R. A method for contour coding of geoinformation space object models on hexagonal grids based on remote sensing data. *Modern problems of remote sensing of the earth from space: thesis. doc. Vseros. conf.* Moscow, November 11-15, 2019. Moscow; 2019. P. 40. (In Russ.).
8. Middleton L., Sivaswamy J. The FFT in a hexagonal image processing framework. *Proceedings of Image and Vision Computing*; 2001. P. 231–236.
9. Wu H. S. Hexagonal discrete cosine transform for image coding. *Electronics Letters*. 1991;27(9):781–783.
10. Revuelta M. B. *Mineral Resources. From Exploration to Sustainability Assessment*. Springer, Cham; 2019. 653 p. DOI: 10.1007/978-3-319-58760-8.
11. Verkhozin S. S. Remote Sensing in Intelligence and Other Areas. *Zolotodobycha*. 2018;4(233):36–39. (In Russ.).
12. Roonwal G. S. *Mineral Exploration: Practical Application*. Springer, Singapore; 2018. 298 p. DOI: 10.1007/978-981-10-5604-8.
13. *Geology and Mining* [electronic source]. GIS technologies: integration of geographic information systems (GIS) – Sovzond. Available from: <https://sovzond.ru/industry-solutions/geology-mining>. [Accessed 10.02.2020]. (In Russ.).
14. Schowengerdt Robert A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. 3rd Edition, eBook. Academic Press; 2006. 560 p.
15. *GIS INTEGRO. Geoinformation technologies for nature management* [electronic source]. Geoinformatics Department of FSBI "VNIGNI". Moscow, VNIGNI Publ.; 2018-2020. Available from: <http://www.gis-integro.ru/>. [Accessed 24.09.2019]. (In Russ.).
16. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. *Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition Selected Cases in Geophysics*. Amsterdam: Elsevier; 2020. 330 p.
17. Marjoribanks R. *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2010. 248 p. DOI: 10.1007/978-3-540-74375-0.
18. Bartalaev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O. et al. Satellite mapping of vegetation cover of Russia. Moscow, IKI RAS Publ.; 2016. 208 p. (In Russ.).
19. *Hexagonal Grids*. Red Blob Games from Amit Patel. Available from: <https://www.redblobgames.com/grids/hexagons/>. [Accessed 13.02.2020].
20. Kramarov S. O., Groshev A. R., Karataev A. S. et al. Possibilities of automation of contour recognition and identification of the earth's surface objects. In: *Modern problems of remote sensing of the earth from space: thesis. doc. Vseros. conf.* Moscow, November 12–16, 2018. Moscow; 2018. p. 414. (In Russ.).
21. Hramov V. V., Gvozdev D. S. *Intelligent information systems*. Textbook. Rostov, Rostov State Transport University Publ.; 2012. 134 p. (In Russ.).
22. Nagy B. Shortest Paths in Triangular Grids with Neighbourhood Sequences. *Journal of Computing and Information Technology*. 2003;11(2):111–122. DOI: 10.2498/cit.2003.02.04.
23. Panov R. S. Development of exploration – the key to stable economic development of Russia. *Analytical Bulletin*. 2014;16(534):7–16. (In Russ.).
24. Hofmann P., Tiede D. Image segmentation based on hexagonal sampling grids. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*. 2014;3(2S):173–177.
25. *On the approval of Development Strategy for Mineral Resources Base of the Russian Federation up to 2035*. Official Internet portal of legal information. Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201812280093>. [Accessed 14.02.2020]. (In Russ.).
26. Temkin I. O., Goncharenko A. N. Problems of modeling the interaction of intelligent agents at a mining enterprise. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal*. 2014;4–2(183):252–259. (In Russ.).

ORIGINAL PAPERS / ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-162-184

Эффективные международные подходы в государственном управлении недрами

Баймишев Р. Н.
 Министерство индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан,
г. Нур-Султан, Республика Казахстан

Аннотация: Развитие отраслей экономики, связанных с горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленностью во многом определяется национальными подходами в регулировании недропользования. Для Республики Казахстан, обладающей огромным геологическим потенциалом, актуально и значимо выработать и использовать конкурентоспособные в мировом масштабе подходы государственного управления недрами. Достижение данных целей позволяет уже в обозримом будущем сформировать потенциал последовательного и гарантированного участия национальной экономики в рыночном взаимодействии с ведущими мировыми партнерами на взаимовыгодных условиях. В работе сделан акцент на то, что, несмотря на прогнозируемые перспективные геологические данные, в Республике Казахстан в настоящее время констатируется факт значительного превышения объемов добычных работ над геологоразведочными работами, что сопровождается низким инвестиционным потенциалом в геологоразведочный сектор. Для решения накопленных проблем в сфере недропользования в работе проведен анализ сложившейся ситуации, выявлены причины возникших обстоятельств и выработаны предложения по совершенствованию системы и подходов государственного управления недрами, обоснована их эффективность. Анализ убедительно показал, что в связи с проведенными реформами в сфере недропользования Республики Казахстан и влиянием тенденций изменений мировой экономики требуется пересмотреть ранее применявшиеся подходы государственного управления недрами с целью выработки наиболее эффективной системы государственного управления недрами. В работе изучен международный опыт государственного управления недрами в странах, достигших наибольшего развития в данном аспекте, выявлены основные принципы при построении системы государственного управления сферой недропользования, проведен исторический анализ при определении влияния выбранных государством методов и подходов к управлению недрами на разных этапах развития экономики. На основе проведенного исследования выявлены зоны риска неэффективного государственного управления недрами, предложены подходы по совершенствованию системы и способов государственного управления недрами Республики Казахстан.

Ключевые слова: индекс инвестиционной привлекательности, государственное управление недрами, сектор полезных ископаемых, сфера недропользования, стратегические программы, стратегические минералы, лицензии недропользования, иностранные инвестиции в недропользование.

Для цитирования: Баймишев Р. Н. Эффективные международные подходы в государственном управлении недрами. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):162-184. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-162-184.

Effective International Approaches to Subsoil Public Administration

R. N. Baimishev
 Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan,
Nur-Sultan, the Republic of Kazakhstan

Abstract: Development of economic sectors related to mining and processing industries is largely determined by national approaches to subsoil use regulation. For the Republic of Kazakhstan, having enormous geological potential, it is relevant and significant to develop and use globally competitive approaches to public administration of subsoil. Achieving these goals allows building in foreseeable future the potential for consistent and secure participation of the national economy in market interaction with leading global partners on mutually beneficial terms. In the paper, emphasis is placed on the fact that, despite forecasted promising geological data, significant excess of the scope of mining work over that of exploration is observed in the Republic of Kazakhstan. This is accompanied by low investment potential of the exploration sector. To solve the accumulated problems in the field of subsoil use, an analysis of the current situation was carried out, the causes of the current circumstances were



identified, and the suggestions were made for improving the system of and approaches to public administration of subsoil, with justification of their effectiveness. The analysis convincingly showed that the reforms carried out in the field of subsoil use in the Republic of Kazakhstan and the changing trends in the global economy strongly require revising the previously used approaches to public administration of subsoil for developing the most effective system of public administration of subsoil. The study examined the international experience of public administration of subsoil in the countries that have achieved the greatest progress in this field, identified the basic principles in building a system of public administration of subsoil use, conducted historical analysis to determine the effect of the methods and approaches selected by state for subsoil administration at different stages of economic development. Based on the study findings, the risk zones of inefficient public administration of subsoil were identified, and approaches to improving the system and methods of public administration of subsoil in the Republic of Kazakhstan were proposed.

Keywords: index of investment prospects, subsoil public administration, mineral resources sector, subsoil use sector, strategic programs, strategic minerals, subsoil use licenses, foreign investment in subsoil use.

For citation: Baimishev R. N. Effective international approaches to subsoil public administration. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):162-184. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-162-184.

Наилучший мировой опыт государственного управления недрами

Государственное управление – универсальный процесс в любом государстве, который подлежит правовому регулированию. Однако нюансы такого регулирования могут существенно различаться в зависимости от страны. В современный период большинство государств подвергаются существенному реформированию и практически одновременно проводят административные реформы [57, С. 23].

Топовыми юрисдикциями мира по инвестиционной привлекательности являются:

- 1) Невада (штат США), которая поднялась с 3-го места в 2017 г.;
- 2) Западная Австралия, которая переместилась на 2-е место после 5-го рейтингового места в 2018 году;
- 3) Саскачеван (штат Канады), который переместился на одно место – со 2-го в 2017 г. на 3-е в 2018 г.;
- 4) Квебек, занявший 4-е место в 2019 году;
- 5) Аляска, переместившаяся с 10-го места в 2017 г. на 5-е в 2018 г.

В топ-10 по отчету Института Фрейзера в 2018 г. вошли Чили, Юта, Аризона, Юкон и Северо-Западные территории [60, С. 1–2].

Индекс инвестиционной привлекательности (рис. 1) представляет собой составной ин-

декс, объединяющий два фактора: индекс восприятия политики и индекс минерального потенциала. При этом индекс восприятия политики включает такие факторы, как сложные процедуры и правила в сфере недропользования, уровень налогообложения, качество инфраструктуры и другие вопросы. Инвесторы указывают, что 40 % их инвестиционного решения определяется политическими факторами, 60 % основаны на оценке минерального потенциала юрисдикции.

Исследование, проведенное Институтом Фрейзера, позволяет выявить страны с наилучшим опытом государственного управления недрами. На протяжении многих лет в десятку стран с благоприятным инвестиционным климатом, признанную инвесторами, входят **Канада, США, Австралия, Чили**. Как мы видим из вышеприведенной таблицы (см. рис. 1), три штата Канады (Саскачеван, Квебек, Юкон) продолжают оставаться самыми привлекательными регионами в мире для инвестиций [60, С. 25].

Международные научные эксперты подтверждают, что **Канада** является одним из лидеров по привлечению инвестиций в горнодобывающую промышленность и одним из мировых центров по привлечению капитала для реализации горнорудных проектов по всему миру [26, С. 42].

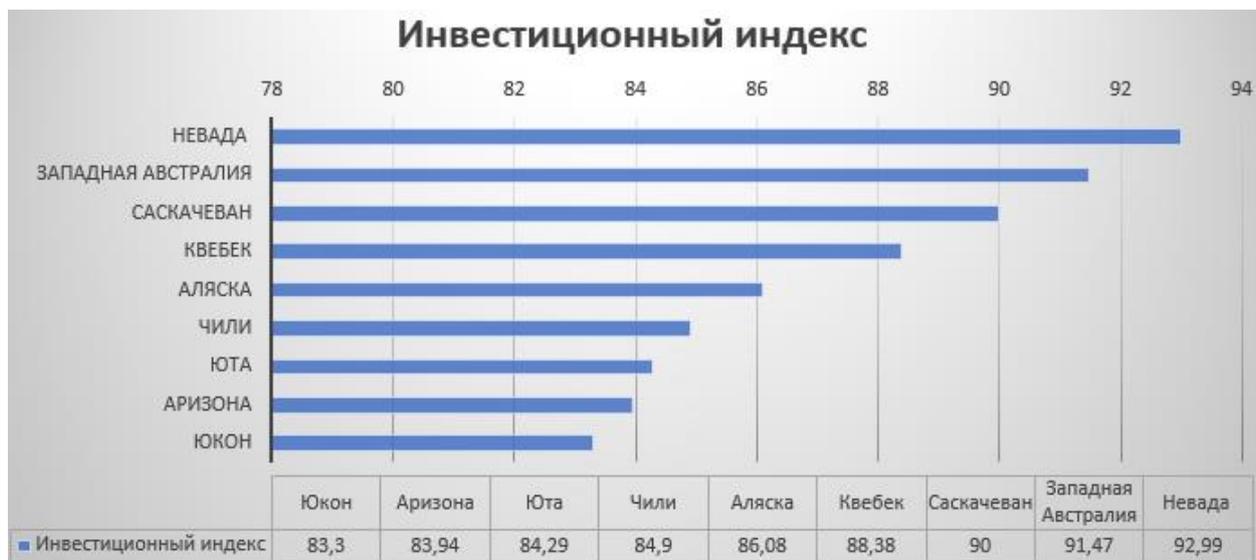


Рис. 1. Индекс инвестиционной привлекательности – топ-10 стран, признанных наиболее привлекательными для инвестирования в недропользование в 2018 г. [60]

Fig. 1. Index of investment prospects – top-10 countries recognized as the most attractive for investing in subsoil use in 2018 [60]

В 2017 г. добыча полезных ископаемых в Канаде составила примерно 44 млрд долл. Канада добывает около 60 видов минералов и металлов на 200 действующих шахтах и 7000 карьерах. Сектор полезных ископаемых (который включает разведку, добычу полезных ископаемых и связанные с ними вспомогательные мероприятия, первичную обработку и последующее производство продукции) составляет 19 % от общего внутреннего экспорта Канады и 5 % от номинального валового внутреннего продукта (ВВП). Сектор полезных ископаемых является основным работодателем, предоставляя 634 000 прямых и косвенных рабочих мест по всей стране в сельских, городских и отдаленных районах [62, С. 1].

Экономика Канады получает значительные выгоды от развития отечественной горнодобывающей промышленности с точки зрения как иностранных инвестиций в страну, так и отечественных инвестиций в горнорудную отрасль. Эти выгоды включают создание новых рабочих мест, общее экономическое развитие и пополнение государственного бюджета. Получение таких выгод становится возможным благодаря ясной и честной «политике устойчивого развития»

в области налогообложения, защиты окружающей среды и социальной сферы [26, С. 41].

Относительно успешности горнорудного сектора США следует отметить, что средний показатель **инвестиционной привлекательности США** улучшился в 2019 году. На основе проводимой политики по управлению недрами и минерального потенциала наиболее привлекательным штатом для осуществления инвестиций в разведку является Невада, которая в 2019 году считается самой привлекательной юрисдикцией в мире. Исходя из среднего показателя инвестиционной привлекательности, Соединенные Штаты занимают 3-е место в рейтинге по инвестиционной привлекательности в недропользование во всем мире после Канады и Австралии [60, С. 30].

При рассмотрении как политического, так и минерального потенциала стран **Австралия** за последние 5 лет сохраняет титул самого привлекательного региона в мире для инвестиций в недропользование. В 2018 г. Западная Австралия снова была оценена как самая привлекательная юрисдикция в регионе и вторая наиболее привлекательная юрисдикция в мире [60, С. 33].

Относительно проведения геологоразведочных работ и разработки месторождений в

Чили инвесторы отмечают, что в указанной республике существует политическая поддержка горнодобывающей деятельности на федеральном уровне, которая положительно влияет на принятие решений инвесторами [60, С. 41].

Рассматривая опыт государственного управления недрами в странах, достигших наилучших результатов в развитии сферы недропользования, мы представляем целесообразность его применения в Казахстане.

Стратегические программы развитых зарубежных стран по управлению недрами

Недропользование представляет собой специфический объект регулирования и управления, требующий наличия утверждаемых государством средне- и долгосрочных программ воспроизводства минерально-сырьевой базы, многофункционального текущего регулирования (правового, бюджетного, налогового, таможенного, валютного, внешнеэкономического и т.п.), управления движением объектов государственной собственности (участков недр) и доходами от владения этой собственностью; рыночного регулирования таких факторов и элементов экономики недропользования, как внедрение достижений научно-технического прогресса, создание новых рабочих мест, стимулирование инвестиционной активности и т.п. [21, С. 12].

Анализ системы целей и приоритетов в сфере управления природными ресурсами, на достижение которых направлена деятельность зарубежных стран и международных организаций, показывает тесную взаимосвязь проектов и программ, связанных с воспроизводством и использованием природных ресурсов и охраной окружающей среды.

Приоритеты стратегических документов стран – членов ОЭСР и международных организаций в природно-ресурсной сфере формируются исходя из анализа долгосрочных тенденций развития и долгосрочных прогнозов. Так, в ОЭСР разработаны долгосрочные экологические прогнозы и прогнозы потребления природных ресурсов, которые используются

для формирования среднесрочной и долгосрочной политики в природно-ресурсной и природоохранной сфере на национальном и наднациональном уровнях.

Обоснование выбора приоритетов в странах ОЭСР для реализации проектов в сфере природопользования связано с выбором между различными инструментами государственной политики для достижения конкретных целей [30, С. 4].

В качестве примера рассмотрим основные стратегические документы в сфере недропользования, разрабатываемые и реализующиеся в странах ОЭСР, достигших наибольшего успеха в развитии сферы недропользования.

Так, в **Канаде** на постоянной основе формируется среднесрочный стратегический план на пятилетний период, направленный на дальнейшее развитие геологоразведки. Указанный план учитывает актуальные социальные и технологические проблемы.

Стратегический план по геологическому изучению на 2018–2023 гг. (Geological Survey of Canada, Strategic Plan 2018–2023) закрепляет пять приоритетных направлений геологического изучения на территории Канады на пятилетний период, в том числе поиски и оценка полезных ископаемых, геологическое картирование, геоэкологическое изучение и т.д. [49].

Чтобы помочь Канаде стать мировым лидером в области устойчивого и ответственного освоения полезных ископаемых и заложить основу для длительного успеха в стране и за рубежом, принят канадский план по минералам и металлам (СММР) в сотрудничестве с провинциями и территориями. Мероприятия, предусмотренные в указанном плане, направлены на обеспечение того, чтобы горнодобывающая промышленность осуществляла значительный вклад в процветание канадцев, а именно: обеспечение рабочих мест, поддержка сообществ, содействие инновациям и внедрение чистых технологий, создание сильного канадского бренда и привлечение инвестиций [62].

По каждому из перечисленных направлений стратегическим планом Канады по минералам и металлам запланировано достижение определенных целей и задач. К примеру, для экономического развития и повышения конкурентоспособности предусматриваются следующие мероприятия:

- к 2020 г. достижение стабильности, предсказуемости и эффективности режимов регулирования горнодобывающей промышленности;

- к 2022 г. разработка совместной геонаучной стратегии по разведке полезных ископаемых;

- к 2025 г. создание инфраструктуры для поддержки разработки полезных ископаемых в перспективных регионах.

По итогам реализации указанных мероприятий правительство Канады ожидает, что среда для ведения бизнеса в ее минеральном секторе станет самой конкурентной и привлекательной в инвестиционном аспекте в мировом масштабе [62, С. 7].

В Канаде также существует программа «Региональная геология в геологоразведке» (The Targeted Geoscience Initiative) стоимостью 8,8 млн долл.США/год ориентированная на проведение трехмерного геологического картирования, чтобы стимулировать дополнительные частные инвестиции в геологоразведочные работы (ГРП) в районах действующих добычных предприятий, испытывающих проблемы с запасами. Трехмерное картирование позволяет снизить геологические риски в процессе проведения ГРП, а также будет способствовать росту профессиональной квалификации геологоразведчиков, работающих с цветными металлами [48, С. 36].

В **Австралии** в рамках Схемы стимулирования разведки (Exploration Incentive Scheme) действует Программа совместного финансирования разведочного бурения (Co-funded Exploration Drilling Program). С июля 2018 г. в рамках Схемы правительство штата Виктория ежегодно выделяет 10 млн долл.

США для мероприятий по стимулированию разведки.

Программа совместного финансирования разведочного бурения нацелена на проекты по инновационному разведочному бурению, предлагая возмещение до 50 % затрат на разведочное бурение:

- до 150 тыс. долл. США для обычных многоствольных проектов;

- до 200 тыс. долл. для проектов, предполагающих бурение одной глубокой скважины;

- до 30 тыс. долл. США для проектов по старательству.

Выплата по гранту осуществляется в следующем порядке: 80 % выплачивается после завершения бурения и предоставления промежуточного отчета о проведенных работах, 20 % – после сдачи окончательного отчета [46].

Среди стратегических программ США в сфере недропользования в 2018 г. принята Федеральная стратегия обеспечения безопасности и надежности поставок стратегических минералов, предусматривающая проведение политики, направленной на благо американского народа в безопасном и экологически чистом будущем, путем:

- выявления новых источников стратегических минералов;

- повышения активности на всех уровнях цепочки поставок, в том числе разведка, добыча, обогащение, разделение, легирование и переработка важнейших полезных ископаемых;

- обеспечения недропользователям электронного доступа к самым передовым топографическим, геологическим и геофизическим данным на территории США в пределах, разрешенных законом, и при условии соблюдения соответствующих ограничений в целях конфиденциальности и безопасности, включая соответствующие ограничения для защиты стратегических данных инфраструктуры, связанных с национальной безопасностью;

– упорядочения процессов лизинга и выдачи разрешений для ускорения разведки, добычи, обогащения, переработки важнейших полезных ископаемых [59, С. 13].

Мировой опыт по реализации принципа государственной собственности на недра

Анализ зарубежного опыта государственного регулирования минерально-сырьевого комплекса (МСК) показывает, что в большинстве зарубежных стран сохраняется право государственной собственности на недра.

Исключением являются США, где право частной собственности на земельный участок распространяется на недра и находящиеся в них полезные ископаемые. Тем не менее для разведки и добычи полезных ископаемых необходимо получение административного разрешения [9, С. 16].

Принцип государственной собственности на недра – основополагающий принцип, который определяет подходы государственного управления недрами. В зависимости от формы применения указанного принципа все государства можно разделить на следующие группы:

– в первой группе стран право собственности на недра является государственным, что признано и закреплено законом (Аргентина, Бразилия, Мексика, Перу, Чили, Казахстан, Россия и др.) [14, С.71];

– во второй право государственной собственности на недра распространяется на земельные участки, находящиеся в государственной собственности [14, С.71]. К примеру, в Соединенных Штатах владельцам частных земель принадлежат также и полезные ископаемые на этой земле, если, конечно, эти земли не являются федеральными землями. Тем не менее в большинстве случаев в Соединенных Штатах разработка месторождений ведется на государственных землях, которые принадлежат государству. Даже в случаях с частным владением требуется разрешение правительства, чтобы обеспечить соблюдение других законов, например в отношении окружающей

среды, здравоохранения, техники безопасности и т. д. Подобный подход в закреплении принципа собственности на недра применяют Франция, Германия, Япония, Великобритания, Канада и др. [19, С. 9].

Следует отметить, что Республика Чили, закрепив принцип государственной собственности на недра, на законодательном уровне признала приоритет отрасли недропользования над земельными вопросами. Указанное положение дает возможность недропользователю, получившему право недропользования на основании концессии, в любом случае проводить разведку и добычу полезных ископаемых, вне зависимости от оформления собственности на земельный участок. Ситуация, когда на участке недр имеется другой собственник земельного участка (не недропользователь), детально регламентирована и закрепляет методику определения стоимости земельного участка, которая в виде возмещения недропользователем уплачивается собственнику.

Основные положения по регулированию сферы недропользования успешными странами в горнорудной отрасли

Государственное управление недрами в Канаде основывается на следующих принципах и подходах.

Равное отношение к отечественным и иностранным инвесторам гарантировано законом. Иностранные и канадские компании имеют одинаковый доступ к информации и статистическим данным по минералам, на них распространяется один и тот же налоговый режим и другие юридические требования [26, С. 42].

В Канаде также предоставление недр в пользование основано на арендно-лицензионной системе. На федеральных землях лицензия выдается одновременно на геологическую разведку и на эксплуатацию месторождения. Открывшая месторождение компания получает преференциальное право на его разработку. Если в течение 10 лет месторождение не эксплуатируется, права на него передаются государству. Провинции обладают полной юрисдикцией над природными ресурсами.

Они определяют политику недропользования, устанавливают фискальную систему, решают вопросы разведки, осуществляют лицензионный процесс и контролируют выполнение лицензионных контрактов, могут регулировать объемы добычи и вывоза ресурсов из провинций, в их компетенции находится решение природоохранных вопросов. Правительства стимулируют изучение и поиск ископаемых ресурсов на собственных территориях. Каждая провинция имеет собственные законы о недропользовании [38, С. 53–54].

В целях получения права недропользования на проведение геологоразведочных работ в Канаде компания подает заявку в соответствующее министерство (департамент) провинции и согласовывает состав проектируемых работ. Компания-заявитель должна иметь лицензию на право ведения геологоразведочных работ. В качестве платежа за пользование недрами рассматриваются затраты, понесенные компанией на геологическое изу-

чение. Ежегодно компания-недропользователь предоставляет в правительство отчет о проведенных геологоразведочных работах, по результатам рассмотрения которого принимается решение о продлении права пользования недрами. При выявлении месторождения, представляющего экономическое значение, факт открытия регистрируется, и компания получает преимущественное право на получение лицензии на добычу [9, С. 16–17].

Государственная политика Канады ориентирована в первую очередь на реализацию частной инициативы как основного инструмента роста в рамках обеспечивающей стабильное развитие системы законов и норм, к примеру [26, С. 45]. В связи с этим созданы условия для развития рынка юниорных компаний. Об указанном свидетельствует рис. 2, на котором видно, что распределение расходов на разведку и оценку месторождений между юниорными и крупными компаниями в Канаде за последние 10 лет в среднем значении достигло 50 %.

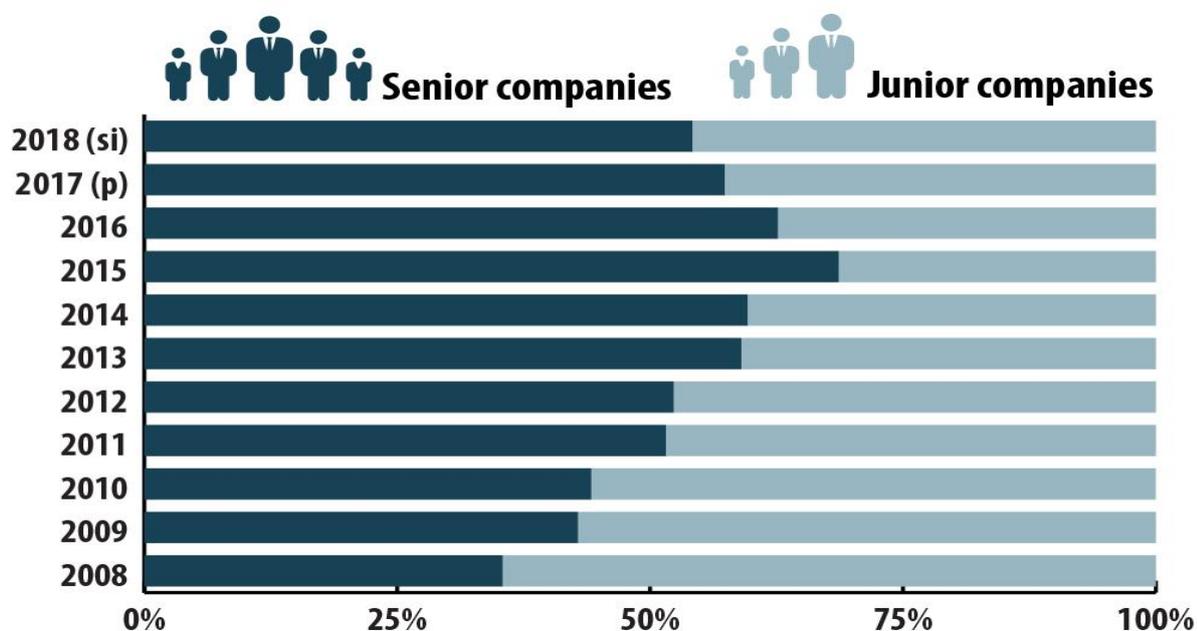


Рис. 2. Процентное распределение расходов на разведку и оценку месторождений между юниорными и крупными компаниями в Канаде за последние 10 лет [62]

Fig. 2. Percentage distribution of investments in exploration and estimation between junior and large companies in Canada over the past 10 years [62]

Налоговая политика Канады соблюдает баланс между необходимостью стимулирования экономического роста и наполнением бюджета. Этот баланс включает ограничение налогового бремени для компаний частного сектора, занимающихся геологоразведкой, добычей полезных ископаемых и продажей готовой продукции, и обеспечение уровня поступлений в бюджет, необходимого для выполнения государством своих обязательств и программ. Уникальным государственным механизмом, направленным на стимулирование их деятельности, является предоставление возможности переадресации налоговых льгот с помощью специальных акций. В соответствии с этим механизмом компании, не имеющие в определенном финансовом году налогооблагаемой базы, но имеющие права на определенные льготы, могут передать часть неиспользованного права на налоговые вычеты другим акционерам [31, С. 106].

Государственное управление недрами в США основывается на следующих принципах и подходах.

В США право пользования недрами приобретает в порядке удовлетворения заявки на проведение геологоразведочных или добычных работ (на землях, находящихся в федеральной собственности либо собственности штатов) или посредством заключения сделок с владельцами прав на пользование недрами. Право пользования недрами может быть напрямую предоставлено только юридическим лицам и гражданам США. Для этого требуется получение патента, который выдается местными органами Бюро по управлению земельными ресурсами министерства внутренних дел. Патент удостоверяет как право собственности на земельный участок, включая недра, так и исключительное право на разведку и добычу этих полезных ископаемых.

Для проведения работ на землях, находящихся в федеральной собственности, а также на землях резерваций и военных объектов требуется получение лицензии, не предусматривающей получение права собственности на

недра [9, С. 16]. Лицензионная процедура строго регламентирована в правовом отношении и институционально представляет собой последовательный иерархический процесс. В соответствии с законодательством 1987 г. лицензионные участки обязательно должны выставляться на торги. На неконкурентной основе они могут представляться только на федеральных землях в случае неудачи торгов. Допускается проведение торгов открытого и закрытого типов. Закрытость означает иную процедуру и имеет некоторую специфику. Информация по предмету торгов полностью доступна. Законодательство ограничивает размер лицензионных участков. Он не должен превышать 23,3 км² на Аляске и 10,36 км² в остальных штатах (как известно, российское законодательство подобных ограничений не содержит, не ограничиваются ни количество участков, ни объемы запасов). Торги проводятся преимущественно по бонусам, которые выплачиваются наличными до начала любых работ на участках. Также проводятся торги по уровню роялти [5, С. 15].

Государственное управление недрами в Республике Чили основывается на следующих принципах и подходах.

Концессия в отрасли добычи ископаемых является имущественным правом. Указанное означает, что владелец концессии может делать то, что он пожелает, – заложить, передать и т. д., т. е. все то, что можно было бы проделать с собственной недвижимостью. Имущество может быть изъято только с помощью экспроприации. В случае экспроприации должна выплачиваться достаточная компенсация наличными, и полный вычет должен отражаться у владельца в чистой стоимости, равной настоящей чистой стоимости будущих чистых свободных средств.

Обладатель концессии не привязан ко времени или рабочей программе, он волен поступать с имуществом так, как он пожелает. Нет определенных сроков по концессии. Она может принадлежать неопределенно долго с ежегодной оплатой за каждый гектар.

Сроки начала и конца действия лицензии определяются судебными органами, исключая, таким образом, вмешательство политических сил и вынос произвольных политических решений и защищая права на имущество.

Концессия на разведочные работы является исключительным правом вне зависимости от участка и охватывает все полезные ископаемые на данном участке.

Концессия на разведочные работы выдается на срок в 2 года. Она должна продлеваться один раз на следующие 2 года при условии, что владелец отказывается от права разработки 50 % лицензионной территории. Продление также легко можно получить.

Государственное управление недрами в Австралии основывается на следующих принципах и подходах.

Австралия установила очень жесткую политику за последние несколько лет. Она постоянно стремится ввести улучшения во всех сферах – правовой, геологической, а также административной. Так как добывающая отрасль является важной частью экономики страны, правительство постоянно пересматривает свое поведение и возможности по привлечению инвестиций в дальнейшие разработки. Оно понимает, что, для того чтобы поддерживать уровень разведочных работ, необходимо быть конкурентоспособным в мировом масштабе [20, С. 41].

Лицензии на пользование недрами предоставляются по принципу «первым пришел, первым получил» [25, С. 10].

Лицензии в Австралии выдаются на три вида операций по недропользованию: геологическое изучение недр, разведка, добыча.

Государство владеет природными ресурсами, находящимися над и под землей (есть исключения, например минералы кроме золота, серебра и других драгоценных металлов над и под землей, отчужденной до 01.01.1899).

Право недропользования предоставляется по принципу первой заявки на все виды полезных ископаемых (кроме углеводородного сырья).

Предусмотрены возрастающие арендные платежи и минимальные расходы на операции по разведке, чтобы экономически стимулировать быструю геологоразведку и исключить удержание участка в спекулятивных целях.

Выдача лицензии на разведку осуществляется по блокам (максимальное количество в рамках одной лицензии – 200 блоков).

Гарантированное право перехода от разведки на добычу.

Обеспечена доступность геологических данных в режиме онлайн в рамках соответствующего банка данных минеральных ресурсов.

Режим налогообложения недропользователей

Налогообложение горнодобывающей отрасли призвано гарантировать правительству и народу получение своей доли, создаваемой при разработке принадлежащих государству ископаемых природных ресурсов добавленной стоимости. Налогообложение горнодобывающей отрасли требует поддержания постоянного равновесия в связи с наличием обратной зависимости между уровнем и временем налоговых поступлений, с одной стороны, и уровнем геологоразведочной и добывающей деятельности – с другой.

Высокий уровень налогов ведет к снижению активности частного сектора. Если налоги находятся на низком уровне, государство не получает справедливую долю причитающегося ему дохода [26, С. 48].

Вопросом баланса этих интересов на протяжении всего времени задаются все страны мира, вместе с тем на сегодняшний день только некоторые развитые страны смогли достигнуть успеха путем построения удачной системы налогообложения, которая проста, понятна и справедлива для инвесторов, а также приносит соответствующий непрерывный доход государству и его населению. С целью извлечения положительного мирового опыта для нашей страны рассмотрим более подробно некоторые из зарубежных систем налогообложения недропользователей.

Особый интерес представляет зарубежный опыт изъятия государством рентных доходов у недропользователей таких стран, как США, Канада, Австралия. Указанные страны отличаются богатым опытом в данной сфере, поскольку формирование своих рыночных механизмов осуществляли на протяжении длительного промежутка времени. Главным механизмом изъятия рентных доходов в данных странах является эффективная налоговая политика, посредством которой государство осуществляет регулирование деятельности своих недропользователей.

Особенностью налогообложения недропользователей в США, Канаде и Австралии является арендная форма доступа к разведке и добыче полезных ископаемых. В США арендной форме частного капитала к разработке недр противостоит система открытого доступа, утвержденная первоначально в законе «О горнодобыче» 1872 г., который является важнейшим законодательным актом, регулирующим использование определенных видов минерального сырья и топлива.

Налоговые системы США и стран Западной Европы ориентированы на прямое нало-

гообложение. Такой режим в отличие от косвенного налогообложения является достаточно независимым от колебания цен на нефть и минеральные ресурсы на мировых рынках. В указанных странах с объектов продаж уплачивается только один рентный платеж – роялти [27, С. 119].

В **Австралии** по лицензии, выданной на определенную территорию, уплачивается налоговый платеж – арендная ставка, которая применяется дифференцировано в зависимости от вида операций по недропользованию и времени проведения работ и состоит из трех категорий в зависимости от периода разведки. Данная практика применена и в Казахстане в связи с проведенными реформами в сфере недропользования в рамках принятия Кодекса Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» и внедрением австралийской модели управления недрами.

Основным налогом в недропользовании Австралии является роялти. В Западной Австралии объектом обложения роялти является объем реализованной продукции. Существуют три ставки роялти в зависимости от степени переработки минерального сырья (табл. 1).

Таблица 1

Механизм расчета роялти в Западной Австралии [11]

Royalty calculation mechanism in Western Australia [11]

Уровень переработки	Ставка роялти, %
Руда	7,5
Концентрат	5
Металл	2,5

Преимущества вышеуказанного подхода роялти:

- стимулирует недропользователей создавать глубокие переделы;
- облегчает администрирование;
- оказывает положительное влияние на привлечение инвестиций.

Также мы считаем, что в законодательстве Республики Казахстан необходимо предусмотреть фискальные стимулы на основе положительного опыта **Канады**. Так, основным налогом в Канаде является налог на прибыль, который платится как в бюджет федерации (по фиксированной ставке 28 %), так и в бюджет провинции (ставки в каждой провинции разные).

В совокупности они составляют 40–50 % прибыли компании.

В налоговой системе Канады существуют разные возможности эффективного поощрения геологоразведочных работ: перенос основного налогового бремени на стадию эксплуатации месторождения, в том числе постоянные налоговые льготы (величина налоговой ставки может изменяться) для горных компаний; временные налоговые скидки; предоставление налоговых льгот инвесторам, финансирующим геологоразведочные работы. В стране действует гибкая система налогообложения недропользования: регулируются ставки налогов, предоставляются «налоговые каникулы», применяется система скидок. Роялти изменяются в пределах 1–30 % и зависят от цен на нефть, дебита скважин, качества нефти, типа месторождений, уровня издержек на добычу и транспорт, времени открытия месторождений (до 1972 г., после 1972 г., после 1 октября 1992 г.). Такой механизм поощряет поиск и разведку новых месторождений и площадей, системно повышает эффективность нефтедобычи. Налоговая нагрузка нефтедобычи в стране относительно высока. Налог на прибыль составляет 40,8–45,8 %, в том числе федеральный – 28 %, отчисления в провинциальный бюджет – 12,6–17,8 %. Совокупная доля государства в доходах от добычи нефти по экспертным оценкам составляет 45–52 % [38, С. 54].

Организационные структуры компетентных органов по управлению недрами зарубежных стран

В Австралии для регулирования сферы геологии, недропользования и промышленности как единой последовательной цепочки деятельности инвестора 1 июля 2017 г. был создан Департамент горного дела, регулирования промышленности и безопасности (DMIRS), который работает над обеспечением безопасного, справедливого и ответственного будущего для сообщества, промышленности и ресурсов Западной Австралии. Следует отметить, что по уровню в системе государственного управления указанный департамент схож с министерствами в Республике Казахстан и подотчетен правительству

Австралии. Департамент также отвечает за сбор роялти и играет ведущую роль в предоставлении геологической научной информации, поддерживает частные инвестиции в разведку и разработку ресурсов. Надежное регулирование департамента, предоставление геологических данных и инновационное управление справедливой и безопасной системой названий помогает Западной Австралии оставаться привлекательным государством для инвестиций. Этот подход также поддерживает развитие сектора ресурсов, который лежит в основе экономики Западной Австралии.

DMIRS обеспечивает нормативный и политический надзор за сектором минеральных и энергетических ресурсов путем контроля соблюдения отраслевых экологических стандартов, систем присвоения названий ресурсов, охраны труда и техники безопасности, функций геологической науки и законодательства об опасных грузах. Таким образом, вышеуказанный австралийский департамент обеспечивает соблюдение принципа «одного окна», объединив все возможные функции, необходимые для государственного регулирования геологии, недропользования и промышленности, в едином государственном органе (структура департамента представлена в рис. 3). Также следует отметить тот факт, что соответствующими структурными подразделениями департамента Австралии (DMIRS) осуществляется государственное управление нефтегазовой и горнорудной отраслями [11].

В Канаде основную роль в федеральном управлении играют министерство природных ресурсов (Natural Resources Canada – NRCan), курирующее вопросы ресурсного значения, и Национальный совет по энергетике (National Energy Board – NEB), осуществляющий непосредственное регулирование [31, С. 105].

Миссией указанного министерства NRCan является разработка политики и программы, которые повышают вклад сектора природных ресурсов в экономику, улучшают качество жизни всех канадцев и проводят инновационную политику на предприятиях по всей Канаде для генерирования идей и передачи технологий.

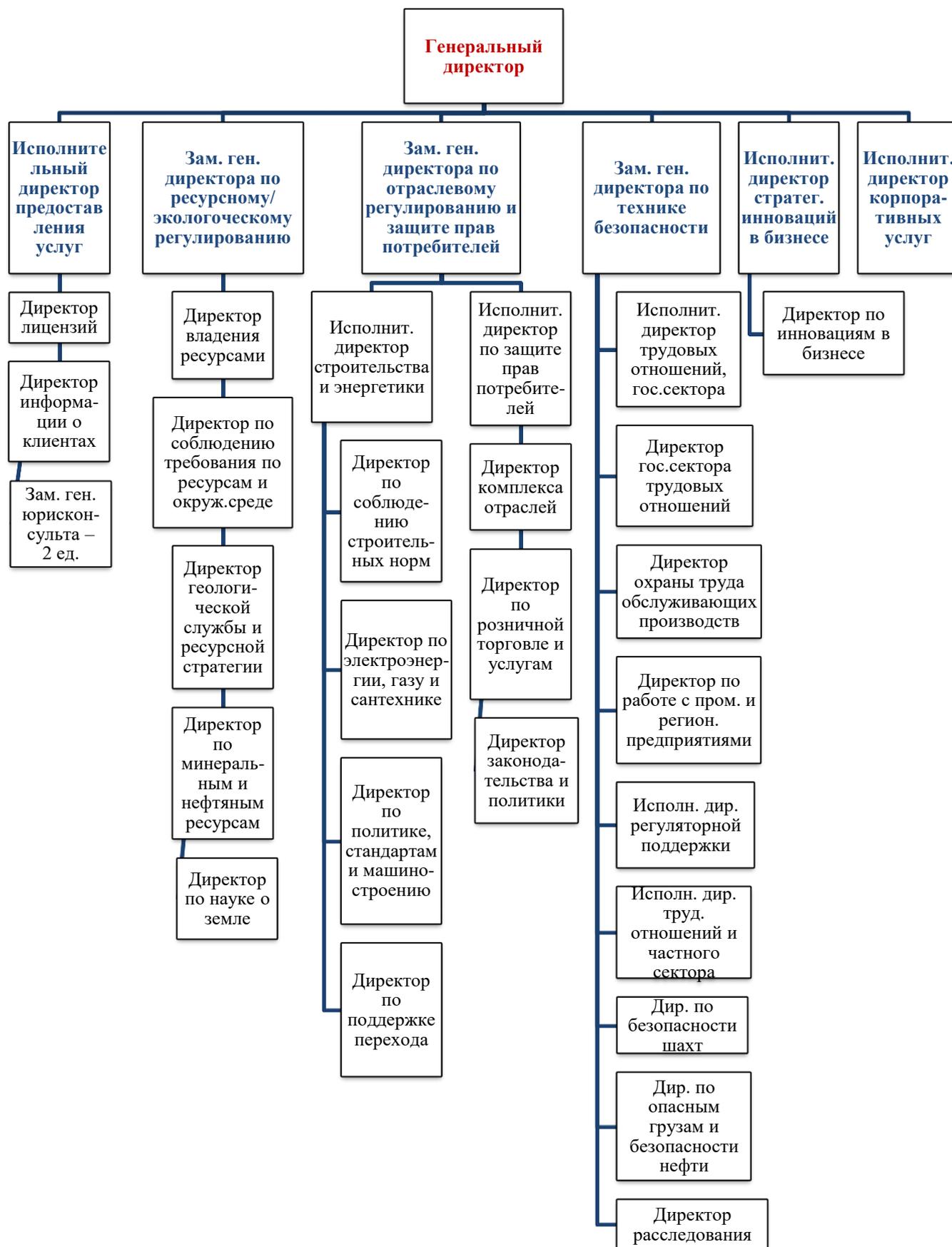


Рис. 3. Корпоративная структура Департамента горного дела, регулирования промышленности и безопасности (DMIRS) [11]

Fig. 3. Corporate structure of the Department of Mining, Industry Regulation and Safety (DMIRS) [11]



Министерство осуществляет государственное управление в следующих областях:

- источники энергии и распределение;
- леса и лесное хозяйство;
- полезные ископаемые и добыча полезных ископаемых;
- науки о Земле;
- энергоэффективность;
- наука и данные.

Министерство природных ресурсов также представляет Канаду на международном уровне для выполнения глобальных обязательств страны в отношении устойчивого развития природных ресурсов.

Часть сектора наук о Земле министерства природных ресурсов представляет Федеральная геологическая служба Канады (GSC), которая была создана в 1842 г. На начальном этапе основной задачей GSC стали работы прикладного характера для поддержки промышленности, например поиски угольных месторождений. Однако уже с конца 1850-х гг. GSC была нацелена на производство региональных работ, составление геологических карт, создание и поддержку геологического музея.

Сразу после Второй мировой войны лаборатории GSC начали оснащаться современной аппаратурой, а в геологических исследованиях стали широко использоваться данные аэрогеофизических съемок.

В 1970-е гг. картирование всей территории Канады было завершено на рекогносцировочном уровне, после этого началось обновление геологической информации на приоритетных территориях.

Сегодня Федеральная геологическая служба Канады (GSC) финансируется федеральным правительством и исследует федеральные земли (территории и шельф) и земли провинций (совместно с геологическими службами (ГС) провинций). ГС Канады выполняет геологическое картирование крупного, среднего и мелкого масштаба, аэрогеофизические съемки, работы по стандартизации баз данных и управлению ими, работы,

связанные с мониторингом и предупреждением природных катастроф, геоэкологические, гидрогеологические, лабораторные исследования, а также геофизическое изучение глубоких горизонтов земной коры. Численность GSC составляет около 600 человек. В состав GSC входят шесть региональных подразделений, расположенных в г. Оттаве, Сиднее, Ванкувере, Калгари, Квебеке, Дартмуте и два тематических отделения: региональных исследований и минеральных ресурсов (Minerals and Regional Geoscience Branch) и осадочной и морской геологии (Sedimentary and Marine Geoscience Branch).

Отделение региональных исследований и минеральных ресурсов проводит геологическое картирование Канадского щита и Кордильер, картосоставительские работы; гравиметрическую и аэромагнитную съемки. По контрактам с частными компаниями ГС выполняет и контрактные аэромагнитные, региональные геохимические и воздушные радиометрические съемки. Вторым направлением работ отделения является исследование месторождений полезных ископаемых, включая прогнозные построения и разработку инновационных методов и технологий ГПП. Третье направление работ ориентировано на изучение и мониторинг землетрясений, вулканических извержений, оползней и других опасных геологических явлений и процессов [48, С. 34–35].

На основании вышеизложенного мы видим, что в Канаде четко разграничены функции между геологической службой и уполномоченным органом по недропользованию. Геологическая служба осуществляет геологическое картирование территории страны и оказывает научно-консультационную помощь частным компаниям в области изучения недр, добычи и переработки минерального сырья [31, С. 104]. При этом, так же как и в Австралии, в Канаде государственное управление недрами осуществляется единым государственным органом, и его полномочия включают вопросы геологии, недропользования энергетических и минеральных ресурсов.

США. Федеральная ГС США (United States Geological Survey – USGS) была основана в 1879 г. как государственная структура, проводящая «классификацию национальных земель, исследование их геологического строения, оценку национальных минеральных и топливных ресурсов». С 1882 г. начались работы по составлению геологической карты США без деления на федеральные, региональные и частные земли. Составление топографических карт и мониторинг водных ресурсов проводились уже в 1880-х гг. [48, С. 40].

В настоящее время ГС является частью министерства внутренних дел США и включает биологическое, географическое, геологическое и гидрологическое подразделения. Общая численность научных сотрудников и технического персонала USGS составляет около 10 тыс. человек. Общее количество научных и региональных центров, полевых станций и информационных офисов – 400. Работы геологического подразделения USGS осуществляются силами четырех научных центров (национального и трех региональных), каждый из которых курирует работы по группе штатов (Западный, Центральный и Восточные регионы). Кроме того, на всей территории США, в том числе на Гавайях и Аляске, находятся 12 периферийных отделений (рис. 4).

Развитая геологическая инфраструктура зарубежных стран для привлечения инвестиций в сферу недропользования

Банк данных Австралии. В Австралии действует банк данных в виде интерактивной карты, в которой есть возможность просмотреть сведения по отдельным месторождениям по всей Австралии. Данная информационная система называется AUSGIN Geoscience Portal, она предусматривает блочную сетку на всей территории Австралии и предоставляет возможность не только выбрать свободный участок недр по блокам и ознакомиться с геологическими данными участка, но и рассмотреть географические данные участка, а также определить, свободен ли занят сам земельный участок. Кроме того, AUS-

GIN Geoscience Portal содержит информацию о занятых участках недр, полностью раскрывает статус разработки данного участка, размер инвестиционных затрат и владельцев соответствующих лицензий на недропользование [18].

Банк данных минеральных ресурсов штата Виктория, Австралия. С 2011 г. действует более усовершенствованная база данных минеральных ресурсов в штате Виктория (Западная Австралия). Это приложение для бесплатного веб-сопоставления, которое позволяет пользователям искать геопространственные базы данных и отображать результаты в виде карт или таблиц. Уровни данных GeoVic включают следующее:

- минеральные, нефтяные и добывающие отрасли;
- геологические карты и интерпретации в различных масштабах;
- данные землепользования;
- аэрофотосъемка;
- границы бортовой геофизической съемки;
- гравитационные, магнитные и радиометрические изображения;
- геофизические данные исследования скважин;
- результаты геохимии поверхности;
- руды и минералы;
- данные о возобновляемых источниках энергии (например, солнечные, геотермальные и ветровые) [2].

Таблица Data Layers содержит подробное описание слоев, доступных в GeoVic. В информационной системе GeoVic также имеется раздел Mining Licenses Near Me (MLNM) – инструмент онлайн-поиска, который позволяет найти лицензии на добычу твердых полезных ископаемых и нефти в штате Виктория. MLNM определяет точное место в штате Виктория:

- участков с лицензией на разведку, удержание и добычу твердых полезных ископаемых;
- участков с лицензией на разведку, хранение и добычу нефти;
- расположения карьеров.

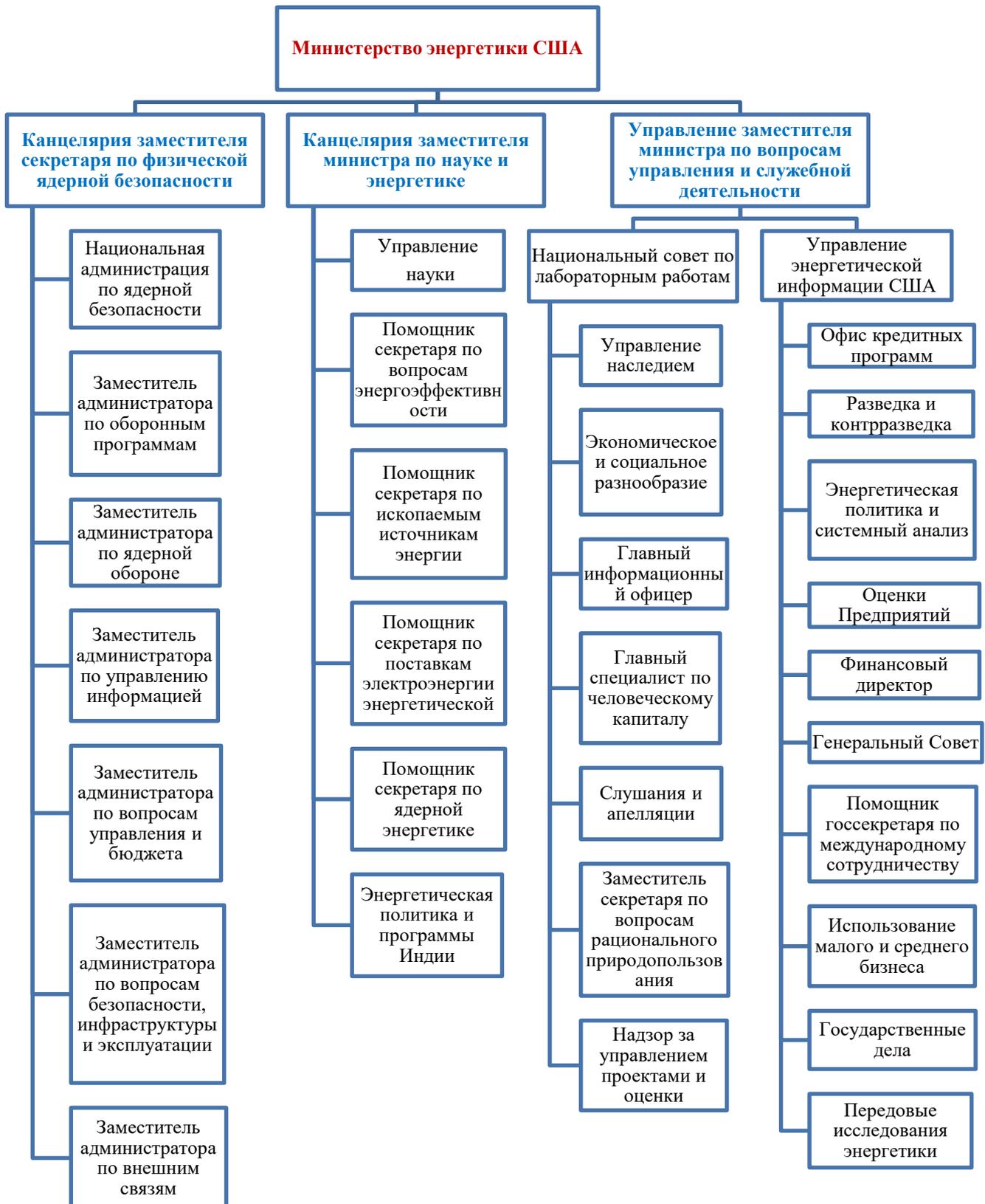


Рис. 4. Структура государственного органа, осуществляющего управление недрами в США [50]

Fig. 4. Structure of the public subsoil administration body in the USA [50]

Широкий спектр геологической информации, относящейся к штату Виктория, доступен через интернет-магазин Earth Resources Online, включая геологические карты штата, отчеты и другую цифровую информацию. Кроме того, онлайн-картографическая система GeoVic может быть использована для отчетов по поиску открытых файловых компаний и доступа к геологическим картам и горным планам [2].

Подобные информационные системы с базой данных по минеральным ресурсам, а также с автоматизированными бизнес-процессами по взаимодействию с государственными органами созданы и в других развитых странах, таких как Канада, США и др.

В результате анализа выявлены основные функциональные возможности иностранных систем:

- интерактивная карта геологических блоков с информацией для инвесторов;
- выгрузка данных в цифровых форматах;
- подача онлайн-заявок на получение права недропользования;
- онлайн-конкурс/аукцион;
- предоставление отчетности ЛКУ;
- доступ к данным в соответствии с правами пользователей и политикой безопасности;
- кросс-платформенное решение (Windows, OS X, Android, IOS).

Банк данных минеральных ресурсов Канады. В Канаде информационный электронный портал данных по недропользованию называется Атлас Канады.

Атлас Канады позволяет ознакомиться со следующими данными:

- свободными и занятыми территориями для проведения операций по недропользованию;
- геологической информацией по всем видам полезных ископаемых и геохронологической информацией (в том числе с геологией коренных пород, исследованных еще в 1956 г.);
- водоносными слоями и ресурсами подземных вод;
- топографической информацией;

- информацией о ресурсах и развитии инфраструктуры;
- территориями, опасными для проведения операций по недропользованию;
- физической географией;
- иной информацией, позволяющей сформировать инвестору наиболее полное представление об интересующем участке недр [1].

Заключение

Таким образом, в работе изучены система и методы государственного управления недрами зарубежных стран, горнорудный сектор которых достиг наилучших результатов, исследованы теоретические и практические проблемы действующей модели государственного управления.

По результатам проведенной работы мы пришли к следующим выводам.

От эффективного управления государственным имуществом – богатствами недр – зависит благосостояние страны. Сегодня государство выступает в качестве субъекта управления, осуществляет управление своим имуществом – государственным фондом недр, выставляя территорию для предоставления права недропользования и выдавая лицензии на пользование недрами. Государственное имущество как объект управления предоставляется во временное пользование инвесторам, и факт предоставления права пользования оформляется специальным государственным разрешением в виде лицензии. В лицензии фиксируются права и обязанности инвесторов, на законодательном уровне определены условия пользования недрами.

Анализ действующих стратегических программ показал, что в качестве основной задачи для восполнения минерально-сырьевой базы предусматривается финансирование геологоразведочных работ исключительно из бюджета Республики Казахстан, что не может являться единственной стратегической целью государства.

В связи с этим на основании проведенного исследования конкурентоспособных мировых подходов при стратегическом планировании на среднесрочный период предлагается закрепить следующие цели и задачи:

– привлечение частных инвестиций в геологическое изучение и геологоразведку путем упрощения и совершенствования процедур для юниорных компаний и увеличение затрат по изученности на 1 км² до 45 долл. США к 2025 г.;

– развитие геологической инфраструктуры, а также переориентирование геологической службы Казахстана на усиление предварительных исследований, картирования, анализа исторических данных на постоянной основе. При этом первые положительные результаты должны быть уже по итогам 2020 г.;

– создание национального банка данных минеральных ресурсов с использованием современных инновационных подходов и возможностей к 2021 г.;

– освобождение геологоразведки от налоговых нагрузок для повышения конкурентоспособности сферы недропользования Казахстана до мирового уровня в 2020 г.;

– развитие кадрового потенциала в геологической отрасли с учетом перехода на международные подходы подсчета запасов полезных ископаемых на постоянной основе.

Внедрение и реализация предлагаемых в настоящей работе мировых практик изменения и совершенствования государственных подходов при государственном управлении недрами окажут следующий положительный эффект:

– рост инвестиций за счет совершенствования административных подходов государственного управления недрами Республики Казахстан, обеспечения прозрачности информации, поддержки новых стандартов, упрощения получения прав недропользования;

– снижение коррупциогенности 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 отдачи от своих инвестиций.

Библиографический список

1. *Атлас Канады*. URL: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/maps/earth-sciences-maps/10789>.
2. *Банк данных минеральных ресурсов штата Виктория, Австралия*. URL: <http://earthresources.vic.gov.au>.
3. Берденов С. А. Казахстанские месторождения меди и олова и их разработка в бронзовом веке. *Известия НАН РК*. 2008;(1):42–55.
4. Бережная Л. И. Показатели эффективности процесса управления федеральным фондом недр. *Геология нефти и газа*. 2009;(4):61–67.
5. Бобылев Ю. Н., Турунцева М. Ю. *Налогообложение минерально-сырьевого сектора экономики*. Научные труды № 140Р, Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара. М.; 2010. 200 с.
6. Богданова Е. П. Проблемы реформирования горного законодательства России и способы их решения, предложенные А.Ф. Дерябиным в новом горном положении. *Вестник Удмуртского университета*. 2011;(1):116–121.
7. Василевская Д. В. Нормативное закрепление права собственности на недра: опыт и тенденции. *Журнал российского права*. 2007;8(128):58-70.
8. *Выступление Председателя государственного комитета по инвестициям и управлению государственным имуществом Республики Таджикистан Саидова Д.Ш. на семинаре по продвижению инициативы прозрачности добывающих отраслей в Таджикистане*. Кохи Вахдат, 12 июля 2011 г. URL: <http://siteresources.worldbank.org>.
9. Глухов А. Н. *Практика современной геологоразведки: международный опыт и российские реалии*. Сев.-Вост. комплекс. НИИ. Магадан: Кордис; 2007. 84 с.
10. *Горная энциклопедия. Казахская Советская Социалистическая Республика*. URL: <http://www.mining-enc.ru/k/kazaxskaya-sovetskaya-socialisticheskaya-respublika>.
11. *Департамент горного дела, регулирования промышленности и безопасности (DMIRS) Западной Австралии*. URL: <https://www.dmir.s.wa.gov.au>.
12. 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.



13. Жалелова Р. З., Пастернак А. А., Жалелова С. З. *Стратегическое управление металлургическим комплексом Казахстана*. Алматы: Институт экономики КН МОН РК; 2019. 80 с.
14. Жукова И. В. Система управления горнодобывающей промышленностью в России: история становления. *Азимут научных исследований: экономика и управление*. 2018;7(3(24)):96–99.
15. Закон СССР «Об утверждении основ законодательства Союза ССР и Союзных Республик о недрах» от 9 июля 1975 г. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=778&rnd=242442.129575489&dst=100013&fld=134#0>.
16. Закон Республики Казахстан от 27 января 1996 г. № 2828 «О недрах и недропользовании». Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Эділет. URL: http://adilet.zan.kz/rus/docs/U960002828_.
17. Ибрагимов Г. Е. Наследие К. И. Сатпаева и перспективы Улытау-Жезказганского региона. *Қазақ мемлекеті мен ұлт тұтастығының қалыптасуыдағы Ұлытаудың тарихи орны. Республикалық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдарының жинағы*. Астана; 2006. С. 73–81.
18. Информационная система Австралии AUSGIN Geoscience Portal. URL: <http://portal.geoscience.gov.au/gmap.html>.
19. Исследование Всемирного банка SOFRECO: *Казахстанское законодательство в отношении предоставления прав на разведку полезных ископаемых*. Июль 2013. 146 с.
20. Исследование горнодобывающего и металлургического секторов промышленности Республики Казахстан. Документ Всемирного банка. Октябрь 2001. 165 с.
21. Кимельман С. А. *Совершенствование механизмов управления государственной собственностью на недра*. Автореф. дис. ... д-ра экон. наук. М.; 2004. 5 с.
22. Клюкин Б. Д. *Горные отношения в странах Западной Европы и Америки (Англия, Канада, США, Франция, ФРГ)*. Ин-т законодательства и сравн. правоведения при Правительстве Рос. Федерации. М.: Городец, 2000. 442 с.
23. Кодекс Республики Казахстан «О недрах и недропользовании» от 27 декабря 2017 г. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Эділет. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000125>.
24. Конституция (Основной закон) Российской Социалистической Федеративной Советской Республики (утверждена постановлением XII Всероссийского Съезда Советов от 11 мая 1925 г.). URL: http://constitution.garant.ru/history/ussr-rsfsr/1925/red_1925/.
25. Корнеев А. В., Соколов В. И. *Основные формы земельной собственности и организация доступа к месторождениям топливно-энергетического и минерального сырья в США: аналитический доклад*. Институт США и Канады АН СССР. М.; 2009. 10 с.
26. Корпорация Кинросс Голд. *Привлечение иностранных инвестиций в горнодобывающую промышленность Российской Федерации*. Финансово-экономическое исследование и рекомендации для Правительства РФ, подготовленные в рамках работы Консультативного совета по иностранным инвестициям Российской Федерации (КСИИ). М.; 2011. 86 с.
27. Курникова А. А. Зарубежная практика изъятия платежей нефтедобывающей отрасли. *Вестник ОГУ*. 2004;(8):118–122.
28. Лекторова Ю. Ю. Социология государственного управления в условиях информатизации общества: региональный опыт. *Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки*. 2016;(2):68–77.
29. Меморандум White&CaseKazakhstan. *Принцип рационального и комплексного использования недр*. Астана; 2015. 12 с.
30. Милетенко Н. В., Данилов А. П., Александров О. В., Добролюбова Е. И. Проектное управление развитием минерально-сырьевой базы: международный опыт и приоритеты внедрения в России. *Разведка и охрана недр*. 2017;(7):3–10.
31. Моргунов Е. В. Управление недропользованием в Канаде. *Народонаселение*. 2014;(2):103–113.
32. Надырбаев А. А. Современное состояние минерально-сырьевой базы Республики Казахстан. *Геология и недропользование Казахстана*. 2018;1(1):14–19.
33. Накипов А. Закон РК «О недрах и недропользовании» от 24 июня 2010 г.: практическое применение. *Юрист*. 2011;(6):30–32.
34. Налоговый Кодекс Республики Казахстан «О налогах и других обязательных платежах в бюджет» от 27 декабря 2017 г. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Эділет. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000120>.
35. 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*. 2014; 1(9):8632-8644. DOI: 10.3390/ijerph110908632.

36. Новикова Е. В. Об исторических корнях горного законодательства. *Недропользование и право*. 2007;(14):23–28.
37. *Отчет Организации экономического сотрудничества и развития «Реформирование горной промышленности в Казахстане: инвестиции, конкурентоспособность, устойчивое развитие»*. 2017. 55 с.
38. Павленко В. И., Селюков В. Г. Регулирование сферы недропользования в приарктических странах (США, Канаде, Норвегии). *Арктика: экология и экономика*. 2013;3(11):50–57.
39. 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.
40. Пелевин Ю. А. *Берг-привилегия. 10 декабря 1709 г. Полное собрание законов Российской империи (ПСЗ)*. Собрание первое. СПб. 1830;V(3464). URL: http://historydoc.edu.ru/catalog.asp?cat_ob_no=15136&ob_no=15135.
41. *Перечень поданных заявлений на выдачу лицензий на недропользование*. Департамент недропользования Министерства индустрии и инфраструктурного развития РК. URL: <http://dep-nedra.miid.gov.kz/ru/pages/perechen-podannyh-zayavleniy-na-licenziyu-0>.
42. *Послание Президента Республики Казахстан – Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства» от 14 декабря 2012 г.* URL: http://www.akorda.kz/ru/events/astana_kazakhstan/participation_in_events/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-lidera-nacii-nursultana-nazarbaeva-narodu-kazahstana-strategiya-kazahstan-2050-novyi-politicheskii.
43. *Презентационный материал Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан «Необходимые реформы налогового законодательства в связи с разработкой проекта Кодекса о недрах и недропользовании»*. Астана; 2016. 10 с.
44. *Презентационный материал Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан «Кодекс о недрах и недропользовании»*. Астана; 2018. 17 с.
45. *Приказ министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 10 сентября 2019 г. №26-Ө Стратегический план Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан на 2017–2021 годы*. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан Әділет.
46. *Программа совместного финансирования разведочного бурения (Co-funded Exploration Drilling Program)*. URL: <http://www.dmp.wa.gov.au/Geological-Survey/EIS-Government-co-funded-1433.aspx>.
47. Рудь В. В. Анализ объектов и экономико-правовых механизмов управления государственной собственностью на недра. *Разведка и охрана недр*. 2009;(2):62–66.
48. Ставский А. *Альтернативная концепция развития региональных геологических работ в России*. М.: Центр «Минерал» ФГУНПП «Аэрогеология»; март 2008. 47 с.
49. *Geological Survey of Canada, Strategic Plan 2018–2023*. Available from: http://ftp.maps.canada.ca/pub/nrcan_rncan/publications/ess_sst/313/313405/gid_313405.pdf.
50. *Структура Министерства энергетики Соединенных Штатов Америки*. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/11/f68/eere-org-chart-110519.pdf>
51. Сулейменов М. К. Нефтяное право Республики Казахстан. *Энергетическое право*. 2007;(2):4–9.
52. Тарасов Р. С. Направления промышленной политики России в развитии горнозаводского дела XVIII–XIX вв. *Гуманитарные и социальные науки*. 2012;(5):2–4.
53. Таханова С. С. Управление недрами Республики Бурятия. *Разведка и охрана недр*. 2017;(9):3–10.
54. Токтабаев Т. С. *Формирование инвестиционно-привлекательной модели управления недрами в горнорудном секторе экономики*. Дис. ... д-ра ДВА. Астана: АО «Университет КАЗГЮУ»; 2017. 152 с.
55. Топоев А. *Об одном письме геолога Нурсултану Назарбаеву*. URL: <http://www.matritca.kz/news/43016-ob-odnom-pisme-geologa-nursultanu-nazarbaevu.html>.
56. Турков О. *Геология в Казахстане: богатое прошлое и смутное будущее*. URL: <https://camonitort.kz/32521-geologiya-v-kazahstane-bogatoe-proshloe-i-smutnoe-budushee.html>.
57. Южаков В. Н., Талапина Э. В., Александров О. В., Тихомиров Ю. А., Добролюбова Е. И. *Концепция федерального закона о государственном управлении в Российской Федерации*. М.; 2015. 96 с.
58. Язев В. А., Ермолович М. Н. *Федеральное и региональное правовое регулирование добычи и переработки общераспространенных полезных ископаемых*. М.: Изд. Государственной Думы; 2014. 160 с.
59. *A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals*. 2018. 70 с. Available from: <https://www.courthousenews.com/wp-content/uploads/2019/06/minerals-strategy.pdf>.
60. Stedman Ashley, Green Kenneth P. *Survey of mining companies*. Fraser Institute Annual; 2018. 86 p.
61. *Extractive Industries Transparency Initiative*. Available from: <https://eiti.geology.gov.kz>.
62. *The Canadian Minerals and Metals Plan*. March 2019. 52 p. Available from: MinesCanada.ca.

63. 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.

64. 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.

65. Maralbaev A. O., Usupaev Sh. E. Legislation and regulatory framework and its improvement in subsoil use in Kyrgyzstan Information about author. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(8):28–32. DOI: 10.17580/gzh.2016.08.05.

66. Неклюдов Е. Г. Эволюция правовых условий развития горной промышленности в Царстве Польском. *Вопросы истории*. 2018;(5):136–148.

67. *Peru Mining Law*. Available from: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mininglaw/mining-law-2016/peru>. [Accessed June 28, 2016].

68. *The Chilean Copper Commission (COCHILCO)*. Ministry of Mining, Government of Chile. Available from: <http://www.cochilco.cl/english/legislation/laws.asp>. [Accessed June 28 2016].

69. *Argentina Mining Law*. Available from: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mining-law/mining-law-2016/argentina>. [Accessed June 28 2016].

70. *Ghana Mining Law*. Available from: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/ghana/q-And-A>. [Accessed June 28 2016].

71. *Madagascar Mining Law*. Available from: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/madagascar/q-And-A>. [Accessed June 28 2016].

72. *Tanzania Mining Act*. Available from: https://mem.go.tz/wp-content/uploads/2014/02/0013_11032013_Mining_Act_2010.pdf. [Accessed June 28 2016].

References

1. *Atlas of Canada*. Available from: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/maps/earth-sciences-maps/10789>.

2. *Mineral Resource Databank of Victoria*, Australia. Available from: <http://earthresources.vic.gov.au>.

3. Berdenov S. A. Kazakhstani deposits of copper and tin and their development in the Bronze Age. *Izvestiya NAN Kazakhstana*. 2008;(1):42–55. (In Russ.).

4. Berezhnaya L. I. Performance indicators of the Federal subsoil fund management. *Geologiya nefti i gaza = Russian Oil and Gas Geology*. 2009;(4):61–67. (In Russ.).

5. Bobylev Yu. N., Turuntseva M. Yu. *Taxation of mineral sector of economy*. Proceedings No. 140P, Institute of Economic Policy named after E.T. Gaidar. Moscow; 2010. 200 p. (In Russ.).

6. Bogdanova E. P. Problems of reforming the Russian mining legislation, and methods for solving them proposed by A.F. Deryabin in a new mining enactment. *Bulletin of Udmurt University*. 2011;(1):116–121. (In Russ.).

7. Vasilevskaya D. V. Normative consolidation of subsoil ownership: experience and trends. *Journal of Russian Law*. 2007;8(128):58-70. (In Russ.).

8. *Speech by the Chairman of the State Committee for Investment and State Property Management of the Republic of Tajikistan Saidov D.Sh. at the panel meeting on promoting the mining industry transparency initiative in Tajikistan*. Kokhi Vahdat, July 12, 2011. Available from: <http://siteresources.worldbank.org>.

9. Glukhov A. N. *The practice of current exploration: international experience and Russian realities*. North-Eastern Complex Research Institute. Magadan: Cordis Publ.; 2007. 84 p. (In Russ.).

10. *Mining Encyclopedia, Kazakh Soviet Socialist Republic*. Available from: <http://www.mining-enc.ru/k/kazaxskaya-sovetskaya-socialisticheskaya-respublika>. (In Russ.).

11. *The Department of Mining, Industry Regulation and Safety (DMIRS) of Western Australia*. URL: <https://www.dmirs.wa.gov.au/>

12. Yesenaliev A. E., Tokhanova R. Zh., Kozhaniyazov E. I. The concept of public administration in the field of subsoil use in the Republic of Kazakhstan. *Modern problems of science and education*. 2013;(6):7. (In Russ.).

13. Zhalelova R. Z., Pasternak A. A., Zhalelova S. Z. *Strategic management of metallurgical industry of Kazakhstan*. Almaty, Institute of Economics, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Publ.; 2019. 80 p. (In Russ.).

14. Zhukova I. V. The system of mining industry management in Russia: the history of formation. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*. 2018;7(3(24)):96–99. (In Russ.).

15. *The USSR Law "On the Approval of the Subsoil Framework Legislation of the USSR and the Union Republics" of July 9, 1975*. Available from: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ESU&n=778&rnd=242442.129575489&dst=100013&fld=134#0>. (In Russ.).

16. *The Law of the Republic of Kazakhstan No. 2828 dated January 27, 1996 "On Subsoil and Subsoil Use"*. Edilet (Justice) Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan. Available from: http://adilet.zan.kz/rus/docs/U960002828_.

17. Ibragimova G. E. The legacy of K.I. Satpayev and the prospects of the Ulytau-Zhezkazgan region. The historical place of Ulytau in the formation of the Kazakh state and national integrity. In: *Proceedings of the Republican scientific-practical conference*. Astana; 2006. P.73–81. (in Kazakhstani).)

18. *Australian Information System AUSGIN Geoscience Portal*. Available from: <http://portal.geoscience.gov.au/gmap.html>

19. *SOFRECO World Bank Study: Kazakhstan legislation regarding licensing mineral exploration rights*. July 2013. 146 p.

20. *The study of mining and metallurgical sectors of industry of the Republic of Kazakhstan*. World Bank Document. October 2001, 165 p.

21. Kimelman S. A. *Improvement of mechanisms for state management of subsoil*. Abstract of Doctoral thesis in Engineering Science. Moscow, 2004, 5 p. (In Russ.).

22. Klyukin B. D. *Subsoil use regulation in Western Europe and America (England, Canada, USA, France, Germany)*. Institute of Legislation and Comparative Jurisprudence under the Government of the Russian Federation. Moscow: Gorodets Publ.; 2000. 442 p. (In Russ.).

23. *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. Available from: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000125>.

24. *The Constitution (Basic Law) of the Russian Socialist Federative Soviet Republic* (approved by resolution of the XII All-Russian Congress of Soviets of May 11, 1925). Available from: http://constitution.garant.ru/history/ussr-rsfsr/1925/red_1925/.

25. Korneev A. V., Sokolov V. I. *The main forms of land ownership and the organization of access to deposits of fuel and energy and mineral resources in the USA: analytical report*. Institute of the USA and Canada, the Russian Academy of Sciences. Moscow; 2009. 10 p. (In Russ.).

26. *Kinross Gold Corporation. Attracting foreign investment in mining industry of the Russian Federation*. Financial and economic research and recommendations for the Government of the Russian Federation, prepared by the Advisory Council on Foreign Investment of the Russian Federation (FIAC). M., 2011, 86 p. (In Russ.).

27. Kournikova A. A. Foreign practice of oil industry taxation. *Vestnik Orenburg State University*. 2004;(8):118–122. (In Russ.).

28. Lektorova Yu. Yu. Sociology of public administration in the conditions of society informatization: regional experience. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*. 2016;(2):68–77. (In Russ.).

29. Memorandum White&Case Kazakhstan. *The principle of rational and integrated subsoil use*. Astana; 2015. 12 p. (In Russ.).

30. Miletenko N. V., Danilov A. P., Aleksandrov O.V., Dobrolyubova E.I. Project management of the development of the mineral resource base: international experience and implementation priorities in Russia. *Prospect and protection of mineral resources*. 2017;(7):3–10. (In Russ.).

31. Morgunov E. V. Subsoil Use Management in Canada. *Narodonaselenie (Moskva)*. 2014;(2):103–113. (In Russ.).

32. Nadyrbaev A. A. Current status of mineral resource base of the Republic of Kazakhstan. *Geologiya i nedropol'zovanie Kazakhstana*. 2018;1(1):14–19. (In Russ.).

33. Nakipov A. Law of the Republic of Kazakhstan “On Subsoil and Subsoil Use” of June 24, 2010: practical application. *Urist*. 2011;(6):30–32. (In Russ.).

34. *Tax Code of the Republic of Kazakhstan (Code on taxes and other mandatory payments to budget) of December 27, 2017*. Edilet (Justice) Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan. URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1700000120>.

35. 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*. 2014; 1(9):8632-8644. DOI: 10.3390/ijerph110908632.

36. Novikova E. V. On ancestry of mining legislation. *Subsoil Use and Law*. 2007;(14):23–28. (In Russ.).

37. *Report of the Organisation for Economic Co-operation and Development "Mining Reform in Kazakhstan: Investments, Competitiveness, Sustainable Development"*. 2017. 55 p. (In Russ.).

38. Pavlenko V. I., Selyukov V. G. Regulation of subsoil use in the Arctic countries (USA, Canada, Norway). *Arctic: ecology and economy*. 2013;(3):50–57. (In Russ.).

39. Pasechnik O. S., Romanyuk L. V. The concept and functions of public administration in subsoil use. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Juridical science*. 2016;2(68)(4):97–105. (In Russ.).

40. Pelevin Yu. A. *Berg-privilegiya* [Berg privilege]. December 10, 1719. Complete collection of laws of the Russian Empire (CCL). The first collection. St. Petersburg, 1830;V(3464). Available from: http://historydoc.edu.ru/catalog.asp?cat_ob_no=15136&ob_no=15135. (In Russ.).

41. *The list of submitted applications for issuance of subsoil use licenses*. Subsoil Use Department of the Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan. Available from: <http://depnedra.miid.gov.kz/ru/pages/perechen-podannyh-zayavleniy-na-licenziyu-0>

42. *Message from President of the Republic of Kazakhstan – Leader of the Nation Nursultan Nazarbayev to the people of Kazakhstan "Kazakhstan-2050 Strategy: a new political course of the established state"* dated December 14, 2012. Available from: http://www.akorda.kz/ru/events/astana_kazakhstan/participation_in_events/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-lidera-nacii-nursultana-nazarbaeva-narodu-kazahstana-strategiya-kazahstan-2050-novyi-politicheskii-

43. *Presentation material of the Ministry of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan "Necessary reforms of tax legislation in connection with the development of the draft Code on Subsoil and Subsoil Use"*. Astana; 2016. 10 p. (In Russ.).

44. *Presentation material of the Ministry of Investment and Development of the Republic of Kazakhstan "Code on Subsoil and Subsoil Use"*. Astana; 2018. 17 p. (In Russ.).

45. *Order of the Minister of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan dated September 10, 2019 No. 26-O "Strategic Plan of the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan for 2017–2021"*. Edilet (Justice) Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan.

46. *Co-funded Exploration Drilling Program*. Available from: <http://www.dmp.wa.gov.au/Geological-Survey/EIS-Government-co-funded-1433.aspx>.

47. Rud V. V. Analysis of objects and economic and legal mechanisms for managing state ownership of the subsoil. *Prospect and protection of mineral resources*. 2009;(2):62–66. (In Russ.).

48. Stavsky A. An alternative concept for the development of regional geological works in Russia. Moscow: Mineral Center under the Federal State Unitary Research and Production Enterprise "Aerogeology"; March 2008. 47 p. (In Russ.).

49. *Geological Survey of Canada, Strategic Plan 2018–2023*. Available from: http://ftp.maps.canada.ca/pub/nrcan_rncan/publications/ess_sst/313/313405/gid_313405.pdf.

50. *The Structure of the United States Department of Energy*. Available from: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/11/f68/eere-org-chart-110519.pdf>.

51. Suleimenov M. K. Oil Law of the Republic of Kazakhstan. *Energeticheskoe pravo*. 2007;(2):4–9. (In Russ.).

52. Tarasov R. S. Directions of Russian industrial policy in the development of mining business in the XVIII – XIX centuries. *The Humanities and social sciences*. 2012;(5):2–4. (In Russ.).

53. Takhanova S. S. Subsoil management in the Republic of Buryatia. *prospect and protection of mineral resources*. 2017;(9):3–10. (In Russ.).

54. Toktabaev T. S. *Formation of an investment-attractive model of subsoil administration in mining sector of economy*. Doctoral thesis in Business Administration. Astana: JSC "KAZGYU University"; 2017. 152 p. (In Russ.).

55. Topoev A. *About a letter from a geologist to Nursultan Nazarbayev*. Available from: <http://www.matritca.kz/news/43016-ob-odnom-pisme-geologa-nursultanu-nazarbaevu.html>.

56. Turkov O. *Geology in Kazakhstan: Prosperous past and troubled future*. Available from: <https://camonitor.kz/32521-geologiya-v-kazahstane-bogatoe-proshloe-i-smutnoe-budushee.html>.

57. Yuzhakov V. N., Talapina E. V., Aleksandrov O. V., Tikhomirov Yu. A., Dobrolyubova E. I. *The concept of the federal law on public administration in the Russian Federation*. Moscow, 2015, 96 p. (In Russ.).

58. Yazev V. A., Ermolovich M. N. *Federal and regional legal regulation of mining and processing of common minerals*. Moscow: State Duma Publ.; 2014. 160 p. (In Russ.).

59. *A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals*. 2018. 70 p. Available from: <https://www.courthousenews.com/wp-content/uploads/2019/06/minerals-strategy.pdf>.

60. Stedman Ashley, Green Kenneth P. *Survey of mining companies*. Fraser Institute Annual; 2018. 86 p.

61. *Extractive Industries Transparency Initiative*. Available from: <https://eiti.geology.gov.kz>.

62. *The Canadian Minerals and Metals Plan*. March 2019. 52 p. Available from: MinesCanada.ca.

63. 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.



64. 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.
65. Maralbaev A. O., Usupaev Sh. E. Legislation and regulatory framework and its improvement in subsoil use in Kyrgyzstan Information about author. *Gornyi Zhurnal*. 2016;(8):28–32. DOI: 10.17580/gzh.2016.08.05.
66. Neklyudov E. G. Evolution of legal conditions for development mining industry in the Kingdom of Poland. *Voprosy Istorii*. 2018;(5):136–148. (In Russ.).
67. *Peru Mining Law*. Available from: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mininglaw/mining-law-2016/peru>. [Accessed June 28, 2016].
68. *The Chilean Copper Commission (COCHILCO)*. Ministry of Mining, Government of Chile. Available from: <http://www.cochilco.cl/english/legislation/laws.asp>. [Accessed June 28 2016].
69. *Argentina Mining Law*. Available from: <http://www.iclg.co.uk/practice-Areas/mining-law/mining-law-2016/argentina>. [Accessed June 28 2016].
70. *Ghana Mining Law*. Available from: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/ghana/q-And-A>. [Accessed June 28 2016].
71. *Madagascar Mining Law*. Available from: <https://www.africanlawbusiness.com/publications/mining-law/mining-law-2016/madagascar/q-And-A>. [Accessed June 28 2016].
72. *Tanzania Mining Act*. Available from: https://mem.go.tz/wp-content/uploads/2014/02/0013_11032013_Mining_Act_2010.pdf. [Accessed June 28 2016].