

ISSN 0536-1028

IZVESTIYA VYSSHIKH UCHEBNYKH ZAVEDENII  
GORNUI ZHURNAL  
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

8  
2018



Журнал распространяется по подписке Агентством «Роспечать», подписной индекс 70367.  
Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), индексируется в  
Международной базе изданий по наукам о Земле Georef.

Сведения о журнале публикуются в Международной справочной системе по периодическим и  
продолжающимся изданиям Ulrich's Periodicals Directory.

Включен в реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН.

Электронные выпуски журнала размещены на порталах

Научной электронной библиотеки eLIBRARY.ru (<http://elibrary.ru>),

компании «ИВИС» (<http://ivis.ru>)

и поисковой системы Google Scholar ([scholar.google.com](http://scholar.google.com)).

Журнал доступен в электронно-библиотечной системе издательства «Лань»

(<http://e.lanbook.com>)

и электронно-библиотечной системе IPRbooks (<http://www.iprbookshop.ru>).

Журнал включен в «ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ,  
В КОТОРЫХ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
ДИССЕРТАЦИЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК,  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК»  
(письмо Минобрнауки РФ от 1 декабря 2015 года № 13-6518)

В журнале публикуются статьи по следующим отраслям науки  
и группам специальностей научных работников:

25.00.00 НАУКИ О ЗЕМЛЕ;

05.00.00 ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: 05.09.00 Электротехника, 05.05.00 Транспортное, горное и  
строительное машиностроение, 05.26.00 Безопасность деятельности человека;

08.00.00 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Тел: (343) 257-65-59

E-mail: [gornij\\_journal@ursmu.ru](mailto:gornij_journal@ursmu.ru)

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

*Научно-технический журнал. Издаётся с 1958 года*

Выходит 8 раз в год

№ 8, 2018

Учредитель и издатель

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор

**Е. Ф. ЦЫПИН**, Уральский государственный горный университет,  
г. Екатеринбург

Заместитель главного редактора

**О. Г. ЛАТЫШЕВ**, Уральский государственный горный университет,  
г. Екатеринбург

## Редакционная коллегия

**Валиев Н. Г.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Гордеев В. А.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Душин А. В.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Зелинская Е. В.** *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск*  
**Игнатьева М. Н.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Калмыков В. Н.** *Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск*  
**Картозия Б. А.** *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*  
**Кашников Ю. А.** *Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь*  
**Козин В. З.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Косарев Н. П.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Косолапов А. И.** *Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*  
**Лапин Э. С.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Литвиненко В. С.** *Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*  
**Махно Д. Е.** *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск*  
**Мочалова Л. А.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Панкратенко А. Н.** *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*  
**Петров В. Л.** *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*  
**Пучков Л. А.** *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*  
**Рыльникова М. В.** *Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва*  
**Сёмин А. Н.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Стровский В. Е.** *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*  
**Шевченко Л. А.** *Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово*  
**Яковлев В. Л.** *Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург*

## Иностранные члены редакционной коллегии

**Дондов Д.** *Монгольский государственный университет науки и технологий, г. Улан-Батор, Монголия*  
**Дребенштедт К.** *Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия*  
**Пивняк Г. Г.** *Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина*  
**Топалов С. Й.** *Университет горного дела и геологии Св. Иоанна Рыльского, г. София, Болгария*  
**Трыбальский К.** *Научно-технический университет им. С. Стаишица, г. Краков, Польша*

# IZVESTIYA VYSSHIKH UCHEBNYKH ZAVEDENII GORNYI ZHURNAL

*Scientific and technical journal. First published in 1958*

8 issues a year

No. 8, 2018

---

---

**Founder and publisher**

**URAL STATE MINING UNIVERSITY**

**Editor-in-chief**

**E. F. TSYPIN**, Ural State Mining University, Ekaterinburg

**Deputy editor-in-chief**

**O. G. LATYSHEV**, Ural State Mining University, Ekaterinburg

## **Editorial board**

**Valiev N. G.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Gordeev V. A.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Dushin A. V.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Zelinskaya E. V.** *National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk*  
**Ignat'eva M. N.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Kalmykov V. N.** *Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, Magnitogorsk*  
**Kartozhina B. A.** *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow*  
**Kashnikov Iu. A.** *Perm State Technical University, Perm*  
**Kozin V. Z.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Kosarev N. P.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Kosolapov A. I.** *Siberian Federal University, Krasnoyarsk*  
**Lapin E. S.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Litvinenko V. S.** *St. Petersburg Mining University, St. Petersburg*  
**Makhno D. E.** *National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk*  
**Mochalova L. A.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Pankratenko A. N.** *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow*  
**Petrov V. L.** *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow*  
**Puchkov L. A.** *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow*  
**Rylnikova M. V.** *Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, RAS, Moscow*  
**Semin A. N.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Strovskii V. E.** *Ural State Mining University, Ekaterinburg*  
**Shevchenko L. A.** *Kuzbass State Technical University, Kemerovo*  
**Iakovlev V. L.** *Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg*

## **International members**

**Dondov D.** *Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia*  
**Drebenshtedt K.** *TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany*  
**Pivniak G. G.** *National TU Dnipro Polytechnic, Dnepropetrovsk, Ukraine*  
**Topalov S. I.** *University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria*  
**Trybalski K.** *Scientific and Technical University named after S. Staszic, Krakow, Poland*

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ

<i>Акишев А. Н., Лель Ю. И., Бокий И. В., Исаков С. В., Глебов И. А.</i> Инновационная технология открытой разработки кимберлитовых месторождений с изменяемой геометрией нерабочих бортов карьера (In English).....	5
<i>Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Апакашев Р. А., Дружинин А. В., Белов В. А.</i> Использование геомембранных экранов на горнопромышленных предприятиях.....	16
<i>Хоменко О. Е., Ляшенко В. И.</i> Ресурсосберегающие технологии добычи руд на больших глубинах.....	23
<i>Котяшев А. А.</i> Закономерности изменения условий и показателей эксплуатации буровзрывного комплекса на открытых горных разработках.....	34

### ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА. АЭРОГАЗОДИНАМИКА

<i>Железняк И. И., Стетюха В. А.</i> О проектировании геотехнологических скважин в криолитозоне Забайкалья и сопредельных регионов.....	41
<i>Далатказин Т. Ш.</i> Изучение вещественного состава коры выветривания в комплексе геодинамической диагностики горного массива.....	50
<i>Рзаев Аб. Г., Расулов С. Р.</i> Особенности воздействия подземных вод на микротрещины горных пород.....	56

### ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА

<i>Вдовин А. Г., Иванченко В. С.</i> Каротаж естественного электромагнитного излучения на железорудных месторождениях на примере Гусевогорского и Северо-Тараташского месторождений.....	66
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

<i>Хопунов Э. А., Шатайлов Ю. Л., Ворончихин С. Л., Шатайлов А. Ю.</i> Влияние магнитного поля на износ мелющих тел, футеровки и дезинтеграцию руд (In English).....	75
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

<i>Галкина Н. В.</i> Управление формированием синергии для инноваций на предприятии (In English).....	83
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### ГЕОЭКОЛОГИЯ, РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

<i>Карфидова Е. А., Макеев В. М., Кравченко И. М.</i> Моделирование сети поверхностного стока для обеспечения горно-геологической безопасности Верхнекамского месторождения.....	91
<i>Иванова Н. С., Шипилова Е. В., Макаров А. Б.</i> Новый подход к рекультивации горнопромышленных ландшафтов.....	102
<i>Архипов Г. И.</i> Современная оценка ресурсов и производства свинца и цинка в Дальневосточном регионе.....	108
<i>Коновалов В. Е., Мурашева А. А., Болтыров В. Б.</i> Особенности использования земель горнопромышленной территории.....	118

### БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

<i>Козырев С. А., Амосов П. В.</i> Исследование процесса проветривания тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса воздуха через зону обрушения.....	125
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

<i>Мочалова Л. А., Кох И. А.</i> Оценка освоения экологических компетенций выпускниками горного вуза.....	135
<i>Перечень статей, опубликованных в 2018 году.....</i>	144

---

---

## CONTENTS

### GEOTECHNOLOGY: UNDERGROUND, OPEN, CONSTRUCTIONAL

<i>Akishev A. N., Lel' Iu. I., Bokii I. V., Isakov S. V., Glebov I. A.</i> Kimberlite deposits opencast mining innovative technology with variable geometry of non-mining open pit edges (In English) .....	5
<i>Davydov S. Ia., Valiev N. G., Apakashev R. A., Druzhinin A. V., Belov V. A.</i> The use of geomembrane screens at mining enterprises.....	16
<i>Khomenko O. E., Liashenko V. I.</i> Resource-saving technologies for ore extraction at great depths.....	23
<i>Kotiashev A. A.</i> Regularities of changes in the conditions and performance of a complex of drilling and blasting in open-pit mining.....	34

### PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES OF MINING. AEROGAS DYNAMICS

<i>Zhelezniak I. I., Stetiukha V. A.</i> On the design of geotechnological wells in the cryolitic zone of Transbaikal and adjacent regions .....	41
<i>Dalatkazin T. Sh.</i> Study of the material composition of the weathering crust in the complex of geodynamic diagnostics of the massif.....	50
<i>Rzaev Ab. G., Rasulov S. R.</i> Features of underground waters influence on rocks microcracks .....	56

### MINING AND OIL-AND-GAS GEOLOGY, GEOPHYSICS

<i>Vdovin A. G., Ivanchenko V. S.</i> Logging of natural electromagnetic radiation in iron ore deposits by the example of Gusevogorskoye and Severo-Taratashskoye deposits.....	66
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### MINERAL PROCESSING

<i>Khopunov E. A., Shatailov Iu. L., Voronchikhin S. L., Shatailov A. Iu.</i> The impact of a magnetic field on the wear of the grinding bodies, lining, and ore disintegration (In English).....	75
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### ECONOMICS AND MINING PRODUCTION CONTROL

<i>Galkina N. V.</i> Synergy formation management for innovations at an enterprise (In English)...	83
----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### GEOECOLOGY, RATIONAL NATURE MANAGEMENT

<i>Karfidova E. A., Makeev V. M., Kravchenko I. M.</i> Modeling the surface runoff network to ensure geological safety at the Verkhnekamsk deposit.....	91
<i>Ivanova N. S., Shipilova E. V., Makarov A. B.</i> Recultivation of mining landscapes: new view ....	102
<i>Arkhipov G. I.</i> Modern assessment of lead and zinc resources and production in the Far East region.....	108
<i>Konovalov V. E., Murasheva A. A., Boltyrov V. B.</i> Peculiarities of using the lands of a mining territory.....	118

### MINING SAFETY

<i>Kozyrev S. A., Amosov P. V.</i> Investigation of a blind excavation ventilation taking into account air leakage/inflow through the failure zone.....	125
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### MINING HIGHER EDUCATION

<i>Mochalova L. A., Kokh I. A.</i> Assessment of ecological competences mastering by the graduate students of mining institutions of higher education.....	135
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>List of articles published in 2018.....</i>	144
------------------------------------------------	-----

## KIMBERLITE DEPOSITS OPENCAST MINING INNOVATIVE TECHNOLOGY WITH VARIABLE GEOMETRY OF NON-MINING OPEN PIT EDGES

AKISHEV A. N.<sup>1</sup>, LEL' Iu. I.<sup>2</sup>, BOKII I. V.<sup>1</sup>, ISAKOV S. V.<sup>2</sup>, GLEBOV I. A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yakutniproalmaz Research and Design Institute  
(39, Lenina Str., Mirny, Russia)

<sup>2</sup> Ural State Mining University  
(30, Kuibysheva Str., Ekaterinburg, Russia)

<sup>3</sup> Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
(58, Mamina-Sibiryaka Str., Ekaterinburg, Russia)

**Research aims** to enlarge the application area of the opencast method of diamond deposits mining by means of introducing an innovative technology of stripping with variable geometry of non-mining open pit edges.

**Research relevance.** At the present time, solution demanding is the problem of peripheral ore reserves final extraction at diamond deposits underlying the ultimate boundaries of open pits, where the use of traditional technologies is economically inefficient. The suggested innovative technology makes it possible to solve the problem.

**Research methodology.** The given problem is solved in two stages: transition, at the appointed depth of the open pit, from the traditional scheme of stripping to the stripping scheme by steeply inclined ramps, and transition, at the final stage to stripping by peripheral road tunnel driven beyond the zone of displacement. At that, optimum depth of transition to a new stripping scheme has been substantiated together with the required speed of driving a tunnel and crosscuts. When justifying the stripping variant, non-mining benches and edges stability have been estimated in general. The methods of economic-mathematical modelling, engineering-economic and mining-geometric analysis.

**Research results.** By the example of Nyurbinsky open pit of ALROSA PJSC exploitation it has been stated that the innovative technology allows to enlarge the slope angles of open pit edges from 45°–48° to 57°–75°, reduce overburden stripping by 3–8 times, and effectively extract mineral reserves up to the depth of 750 m.

**Results application area.** The suggested technology can be used not only during the exploitation of kimberlite open pits, but also during the opencast exploitation of non-ferrous metal ore deposits and precious-metal ore deposits represented by round shaped steep deposits.

**Key words:** open pit; stripping scheme; ramp inclination; four-wheel drive dump trucks; edge angle of inclination; tunnel; tunneling speed; heading machine; edge stability coefficient; robotization.

**Introduction.** Research aims to enlarge the application area of the opencast method of mining diamond deposits by means of introducing an innovative technology of stripping with variable geometry of non-mining open pit edges. In recent years, the trend has been observed of breaking with traditional opencast-underground method of mining primary diamond deposits situated in the cryolithic zone. It is associated with the increased potential of opencast mining by means of introducing new technological solutions to deposits stripping and mining, modern mining and transport equipment

possessing new engineering capabilities, and robotization of the main technological processes.

When the transition to underground mining used to be planned from a depth of 500–600 m, at the present time the potential of opencast mining allows to mine open pits effectively to a depth of 850–1000 m. This circumstance allows to revise the concept of mining primary diamond deposits, and in some cases eliminate the expensive and economically inefficient method of pit reserves underground mining [1, 2].

**Research methodology.** Let us consider the problem of reserves final extraction at Nyurbinsky pipe of ALROSA PJSC, where mining peripheral limited ore reserves within the depth range of 570–750 m using an underground mining method is economically inefficient. In 2015 Yakutniiproalmaz Institute developed some recommendations on mining-engineering parameters and the order of open pit mining to a depth of 570 m (*Manager's Report of Investigations by A. N. Akishev "To Work out Recommendations on Mining-Engineering Parameters and the Order of Nyurbinsky Open Pit Mining to a Depth of 570 m with the Account of the Refined Physical-Mechanical Properties of the Enclosing Rocks"*. Mirny, Yakutniiproalmaz, 2015. 50 p). From a depth of 370 m (mountain –120 m) the project provided for the transition from the traditional stripping scheme to stripping by steeply inclined ramps ( $i = 21\text{--}25\%$ ) with a corresponding implementation of four-wheel drive articulated trucks. To a depth of 370 m, rock mass is removed to the surface by dump trucks CAT-777D, CAT-777E, TEREX TR-100 with  $4 \times 2$  wheel arrangement, payload 91 t along the ramps with the inclination of 8–9%. From the lower horizons the rock mass is delivered by four-wheel drive dump trucks CAT-745C with payload 41 t to a loading point situated on the horizon –80 m.

The main advantages of the articulated trucks (AT) at the stage of the design alternative consist in the use of the steeply inclined ramps ( $i = 21\text{--}25\%$ ) and the haulage berms smaller in width as compared to the dump trucks with  $4 \times 2$  wheel arrangement, which allows to enlarge the angles of inclination of non-mining pit edges from  $45^\circ\text{--}48^\circ$  to  $57^\circ\text{--}63^\circ$ , reduce additional overburden stripping caused by transport communications arrangement, and to mine the open pit to a depth of 570 m [3]. When substantiating the variant of stripping, the estimation of non-mining benches and edges stability in general has been fulfilled. The estimation has been fulfilled by means of comparing design and allowable stability safety factor according to the methodology of VNIImI (*Manager's Report of Investigations by I. B. Bokii "To Study Physical and Mechanical Properties of the Enclosing Rocks in the Vicinity of the Open Pit at Nyurbinsky Pipe by Geological-Engineering Wells to a Depth of – 400 meters above sea level"*. Mirny, Yakutniiproalmaz, 2014. 28 p). At that, the following physical-mechanical properties of rocks were considered: density, the angle of repose, cohesion in the sample, and structural weakening coefficient in the massif. It has been stated that design values of the stability safety factor is higher than maximum allowable values ( $K_d > 1.2$ ).

In 2017 Yakutniiproalmaz Institute in cooperation with the Ural State Mining University suggested the scheme of stripping for the deep horizons of Nyurbinsky open pit by the peripheral road tunnel of a spiral shape, which makes it possible to mine the deposit to a depth of 750 m, which corresponds to a depth of the explored reserves [4].

Transfer to tunnel stripping is carried out from a depth of 530 m (mountain –280 m). An underground ramp, driven beyond the zone of displacement, joins the mining horizons by crosscuts which are driven in non-mining edges and are abandoned as mining depth increases. When using the indicated scheme of stripping, the angle of inclination of a non-mining edge in the zone of tunnel stripping doesn't depend on the width and the inclination of transport communications, but only on the conditions of stability. It has been stated, that taking into account the difference between the values of design and allowable stability safety factors of Nyurbinsky open pit edges, inclination



angle of a non-working edge in the zone of tunnel stripping can be increased up to  $75^\circ$ . If the indicated scheme of stripping is used, the edge of an open pit has got a convex cissoidal profile. It reduces overburden stripping and stabilizes benches as its contour is distressed to the maximum [5]. It results in geological environment disturbances reduction and mining safety improvement. Tunnel stripping reduces ground water hydrodynamic pressure on the edge of the open pit, which will also contribute to the increase in the angle of inclination of a non-mining edge. The presence of a tunnel makes it possible to arrange the equipment to observe its state within the limits of the massif. Moreover, out of the tunnel the anchor support can be installed which prevents from adjacent rock mass collapse [6–8]. The use of the articulated trucks and steep ramp inclinations allows to significantly reduce capital investments in underground tunnels driving, which is the main restriction under the implementation of the indicated stripping method.

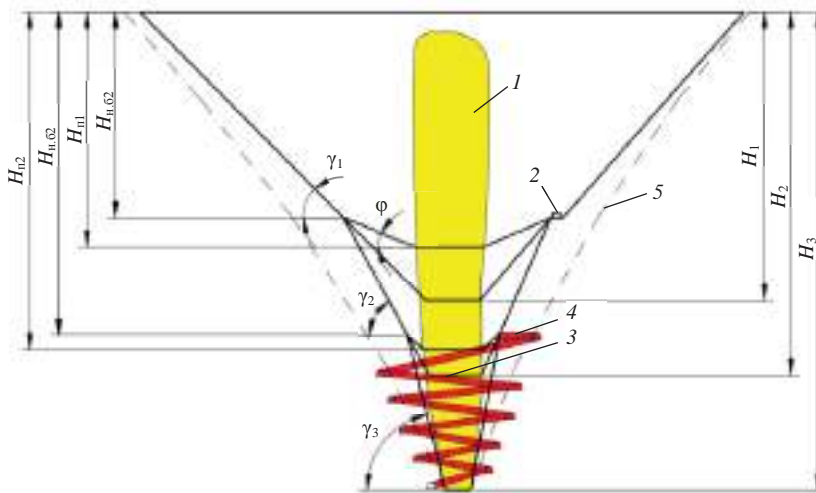


Fig. 1. An innovative scheme of stripping the deep horizons of Nyurbinsky open pit: 1 – ore body; 2 – loading point; 3 – tunnel ramps; 4 – crosscut; 5 – opencast mining coverage boundary (sliding surface)

Рис. 1. Инновационная схема вскрытия глубоких горизонтов Нюрбинского карьера:

1 – рудное тело; 2 – перегрузочный пункт; 3 – тоннельные автосъезды; 4 – квершлаг; 5 – граница зоны действия открытых горных работ (поверхность скольжения)

Based on the open pit rock mass production rate, goods turnover, and dump trucks traffic, one way tunnel with pass-by niches for the dump trucks has been considered. The distance between the pass-by niches is 450 m.

Thus, the suggested innovative scheme of Nyurbinsky open pit stripping includes the two stages (table 1, fig. 1):

*At the first stage* in 2024 the transition is carried out from the traditional scheme of stripping to the stripping scheme by the steeply inclined ramps with the use of four-wheel drive articulated trucks with payload 41 t;

*At the second stage* in 2034 the transition is carried out from the steeply pitching scheme of stripping to the stripping scheme by the peripheral ramp tunnel of a spiral shape.

In fig. 1 the following notations are set:  $H_1$  – the target depth of the open pit under the traditional scheme of stripping with the use of the dump trucks with  $4 \times 2$  wheel arrangement, m;  $H_2$  – the target depth of the open pit under the transition to stripping by the steeply pitching ramps and the use of the four-wheel drive dump trucks, m;  $H_3$  – the target depth of the open pit under the transition to tunnel stripping, m;  $H_{n1}$  – the depth of the transition to stripping by the steeply pitching ramps, m;  $H_{n2}$  – the

depth of the transition to tunnel stripping, m;  $H_{H.61}$  – the height of a non-mining edge of the open-pit under the transition to stripping by the steeply pitching ramps, m;  $H_{H.62}$  – the height of a non-mining edge of the open-pit under the transition to tunnel stripping, m;  $\gamma_1$  – the angle of inclination of a non-mining edge of the open pit under the traditional scheme of stripping, degrees;  $\gamma_2$  – the angle of inclination of a non-mining edge of the open pit under stripping by the steeply pitching ramps, degrees;  $\gamma_3$  – the angle of inclination of a non-mining edge under tunnel stripping, degrees;  $\varphi$  – the angle of inclination of a mining edge, degrees.

Under the implementation of the innovative scheme of striping, apart from the substantiation of open pit non-mining edges stability, the following problems require substantiation:

- the optimum depth of the transition to a new stripping scheme;
- the required speed of driving tunnels and crosscuts;
- the rational scheme of underground workings ventilation.

**Table 1. Basic parameters of the innovative scheme of Nyurbinsky open pit stripping**

Parameter	Value
The target depth of the open pit $H_3$ , m	750
The depth and the year of the transition from the traditional scheme to stripping by the steeply pitching ramps $H_{H1}$ , m (year)	370 (2024)
The height of a non-mining edge of the open-pit under the transition to stripping by the steeply pitching ramps $H_{H.61}$ , m	330
The depth and the year of the transition from stripping by the steeply pitching ramps to peripheral tunnel stripping $H_{H2}$ , m (year)	530 (2034)
The height of a non-mining edge of the open-pit under the transition from stripping by the steeply pitching ramps to peripheral tunnel stripping $H_{H.62}$ , m	510
maximum inclination of automotive communications $i$ , %:	
in a zone of the traditional scheme of stripping	8–9
in a zone of steeply pitching stripping	21–25
in a zone of tunnel stripping	20
Line development coefficient $k_{p.r}$ , unit fractions	1,083
The angle of inclination of a non-mining edge in the enclosing rocks, degrees	54–63
Including:	
in a zone of the traditional scheme of stripping $\gamma_1$	45–48
in a zone of steeply pitching stripping $\gamma_2$	57–63
in a zone of tunnel stripping $\gamma_3$	75
The volume within the contour of the open pit (as of 1st January, 2017):	
ore, million ton	9.7
overburden, million m <sup>3</sup>	44.9
Average operating stripping ratio $k_{B,cp}$ , m <sup>3</sup> /t	4.7
Annual productive capacity of the open pit for ore, million t/yr:	
2018–2024	0.87–1.05
2025–2033	0.40
2034–2040	0.23
models and payload of the dump trucks, t:	
in a zone of the traditional scheme of stripping	CAT-777D (91 ton)
in a zone of steep and tunnel stripping	CAT-745C (41 ton)
Bench height $h_y$ , m:	
mining	15
non-mining	30–45
Average speed of the open pit deepening $h_r$ , m/yr	25
The angle of inclination of a mining edge $\varphi$ , degrees	16–18
The total length of underground openings, m:	
tunnel	1300
horizontal crosscuts	1100
The required speed of tunneling $\tau$ , m/mo	greater or equal 19.7

When solving the indicated problems, the methods of economic-mathematical modeling, engineering-economic and mining-geometric analyses have been used.

**Results. Analysis and discussion.** Table 2 introduces analytical dependences for basic parameters of stripping calculation: the transition depth, the non-mining edge height, and the open pit depth increase under the transition to a new scheme of stripping. It can be observed, that these parameters are determined basically by the target depth of the open pit and the difference between the values of the non-mining edges angles under various stripping schemes. It is recommended to use the dependences for preliminary estimation of the depth of the transition to a new stripping scheme. Exceeding the indicated depth leads to the need for the fundamental reconstruction of the open pit starting from the higher horizons. Otherwise, it will be impossible to mine the open pit to the target depth allowed by the new stripping scheme. The final decision on the transition optimum depth is made according to the economic criterion, which takes into account the reduction of stripping and transportation by various types of dump trucks, the prime cost of stripping and automobile transportation, costs for driving and maintenance of the underground workings, as well as these factors dynamics [9]. In the considered variant, the depth of the transition to the new stripping schemes ( $H_{n1} = 370$  m;  $H_{n2} = 530$  m) is set according to the economic criterion.

**Table 2. The calculation of the basic stripping parameters**  
**Таблица 2. Расчет основных параметров вскрытия**

Parameter	Stripping scheme	
	Steeply pitching ramps (1st stage)	Road tunnel (2nd stage)
A depth of the transition to a new scheme of stripping under the known target depth of the open pit	$H_{n1} = \frac{H_1 - (H_2 - H_1) \cos \gamma_2 \sin(\gamma_2 - \varphi)}{\sin(\gamma_2 - \gamma_1) \cos \varphi}$	$H_{n2} = \frac{(H_3 - H_2) \cos \gamma_3 \sin(\gamma_3 - \varphi)}{\sin(\gamma_3 - \gamma_2) \cos \varphi}$
The increase of the open pit depth under the transition to a new stripping scheme	$\Delta H = H_2 - H_1 = \frac{(H_1 - H_{n1}) \sin(\gamma_2 - \gamma_1) \cos \varphi}{\cos \gamma_2 \sin(\gamma_2 - \varphi)}$	$\Delta H = H_3 - H_2 = \frac{(H_2 - H_{n2}) \sin(\gamma_3 - \gamma_2) \cos \varphi}{\cos \gamma_3 \sin(\gamma_3 - \varphi)}$
The height of a non-mining edge under the transition to a new stripping scheme	$H_{n.61} = H_1 - \frac{(H_2 - H_1) \cos \gamma_2 \sin \gamma_1}{\sin(\gamma_2 - \gamma_1)}$	$H_{n.62} = H_2 - \frac{(H_3 - H_2) \cos \gamma_3 \sin \gamma_2}{\sin(\gamma_3 - \gamma_2)}$

When considering the innovative stripping scheme, the problem of substantiating the required speed of tunneling is of great significance. For continuous functioning of the stripping scheme, the period of abandoning the connecting crosscut at the higher horizon should correspond to the period of putting the new crosscut into operation at the lower horizon of the open pit. Thus, the speed of tunneling should be consistent with the development of mining in the functioning part of the open pit as well as with the period of the open pit edge formation into the target position at a note of an entrance. The vertical distance between the tunnel entrances in the upper zone of the tunnel stripping is 30 m, which corresponds to the height of a non-mining bench; in the lower zone – 15 m.

The condition must be followed (fig. 2):

$$(T_T + T_{KB}) \geq T_6, \quad (1)$$

where  $T_6$  – the period of a non-mining edge of the open pit formation to the height  $h_{n1}$ , years;  $h_{n1}$  – the vertical distance between the tunnel entrances, m;  $T_T$  – the period of the

tunnel construction to a depth  $h_{\text{п}}$ , years;  $T_{\text{КБ}}$  – the period of constructing the crosscut providing the way out to the functioning zone of the open pit, years;

$$T_{\text{Г}} = h_{\text{п}}/h_{\text{Г}}, \quad (2)$$

where  $h_{\text{Г}}$  – vertical speed of forming the non-mining edge of an open pit, m/yr;

$$h_{\text{Г}} = h_{\text{r}} (\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\sigma) / (\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\gamma), \quad (3)$$

where  $h_{\text{r}}$  – the vertical speed of the open pit deepening, m/yr;  $\varphi$  – the angle of inclination of an operating edge of the open pit, degrees;  $\sigma$  – deepening directional angle, degrees;  $\gamma$  – the angle of inclination of a non-mining edge of the open pit, degrees;

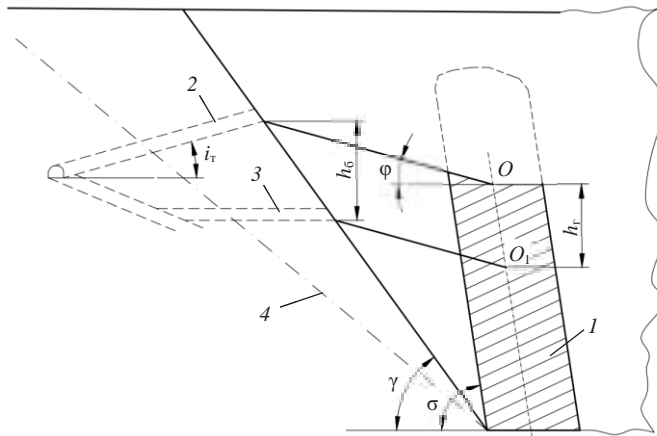


Fig. 2. The calculation scheme of the required speed of tunneling:  
 1 – ore body; 2 – tunnel; 3 – crosscut; 4 – opencast mining coverage boundary;  
 $h_{\text{r}}$  – the vertical speed of the open pit deepening, m/yr;  $h_{\text{Г}}$  – the vertical speed of forming a non-mining edge of the open pit, m/yr;  $\sigma$  – deepening directional angle, degrees;  $\gamma$  – the angle of inclination of a non-mining edge of the open pit, degrees;  $\varphi$  – the angle of inclination of a mining edge of the open pit, degrees;  
 $i_{\text{T}}$  – the inclination of the tunnel ramp, unit fractions

Рис. 2. Схема к расчету необходимой скорости проходки тоннеля:  
 1 – рудное тело; 2 – тоннель; 3 – квершлаг; 4 – граница зоны действия открытых работ;  $h_{\text{r}}$  – вертикальная скорость углубки карьера, м/год;  $h_{\text{Г}}$  – вертикальная скорость формирования нерабочего борта карьера, м/год;  $\sigma$  – угол направления углубки, град;  $\gamma$  – угол откоса нерабочего борта карьера, град;  $\varphi$  – угол откоса рабочего борта карьера, град;  $i_{\text{T}}$  – уклон автодороги в тоннеле, доли ед.

$$T_{\text{T}} = l_{\text{T}}/v_{\text{T}}, \quad (4)$$

where  $l_{\text{T}}$  – the tunnel length under stripping to a depth  $h_{\text{п}}$ , m;  $v_{\text{T}}$  – speed of tunneling, m/yr;

$$l_{\text{T}} = h_{\text{п}}k_{\text{п.Т}}/i_{\text{T}}, \quad (5)$$

where  $i_{\text{T}}$  – the inclination of the tunnel ramp, unit fractions;  $k_{\text{п.Т}}$  – line development coefficient, unit fractions;

$$T_{\text{КБ}} = l_{\text{КБ}}/v_{\text{T}}, \quad (6)$$

where  $l_{\text{КБ}}$  – crosscut length, m.

The ratios (2)–(6) substitution into the inequality (1) yields

$$v_T^* \geq \frac{h_T (\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\sigma) (h_{II} k_{p,T} + i_T l_{KB})}{h_{II} (\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma) i_T}. \quad (7)$$

The expression (7) determines the requirements to the speed of peripheral tunneling.

Let count  $v_T$  for the conditions of Nyurbinsky open pit. Initial data (table 1) are the following:  $h_T = 25$  m/yr;  $\gamma = 75^\circ$ ;  $\varphi = 16^\circ$ ;  $\sigma = 85^\circ\text{--}90^\circ$ ;  $i_T = 0.20$ ;  $l_{KB} = 100$  m;  $k_{p,T} = 1.083$ ;  $h_{II} = 30$  m. Получим  $v_T \geq 237$  m/yr or  $v_T \geq 19.7$  m/mo.

In the course of the research, modern technologies of driving and supporting road tunnels in the mining-engineering conditions similar to the kimberlite pipes conditions have been considered. Two methods of driving tunnels and crosscuts have been examined: the drilling and blasting method and the method with the use of road headers.

Based upon the physical-mechanical properties of the enclosing rocks at Nyurbinsky open pit, the method with the use of a road header is preferable; it ensures better economic-engineering indices and higher speed of tunneling. As excavating equipment, a selective heading machine AM-105 of “Fest Alpine” company has been chosen. The anchor support installation is carried out by a Spraymec 7110 shotcrete machine. Rock removal during tunneling is carried out by technological dump trucks CAT-745C (41 t). Calculations show, that the use of the accepted technology when tunneling one way tunnel with the section area of 29.7 m<sup>2</sup> ensures maximum speed of tunneling 60–70 m/mo which is 3.0–3.5 times higher than required [10].

Thus, the required speed of tunneling is determined by the speed of the open pit deepening, the ramps inclination, and the vertical distance between the entrances; it depends on the angles of mining and non-mining edges of the open pit, and the direction of deepening. The greatest impact is made by three factors:  $h_T$ ,  $i_T$ , and  $h_{II}$ .

When reducing the inclination of the tunnel from 20 to 5%, the required speed of tunneling is increased by 2.4–3.0 times and approaches its maximum in technical conditions (fig. 3). This conditions the need for and the effectiveness of four-wheel drive dump trucks and increased inclinations when carrying out tunnel stripping of open pit deep horizons.

The effectiveness of the suggested deep open pits exploitation technology can be improved by means of robotized mining-transport equipment introduction, particularly dump trucks. At that, the width of the transport berms may be decreased by 20–30%, and the angle of inclination of a mining edge may be increased by 4°–6°. Under the use of the robotized dump trucks, the width of the transport berms is determined by the width of the roadway and the tolerance connected with the accuracy of the positioning systems. The robotized dump trucks are built up with a 3D scanner which makes it possible to control the state of roads and rock massif. The elements of safety are excluded from the structure of a berm. The transition to the use of the robotized dump trucks can be effective at the first stage of the innovative technology implementation already, i.e. during the transition from the traditional scheme of stripping to the scheme

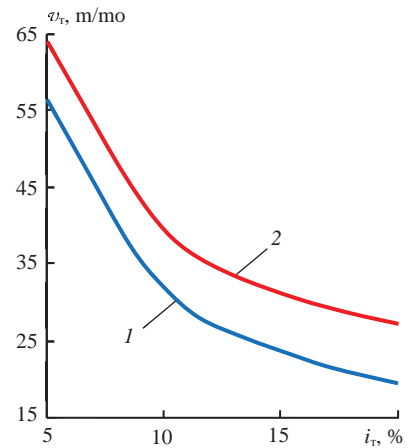


Fig. 3. The dependence between the required tunneling speed  $v_T$  and ramps inclination  $i_T$ ;

$h_{II}$  – the vertical distance between the entrances; 1 –  $h_{II} = 30$  m; 2 –  $h_{II} = 15$  m

Рис. 3. Зависимость необходимой скорости проходки тоннеля  $v_T$  от уклона автодорог  $i_T$ ;

$h_{II}$  – вертикальное расстояние между порталами; 1 –  $h_{II} = 30$  м; 2 –  $h_{II} = 15$  м

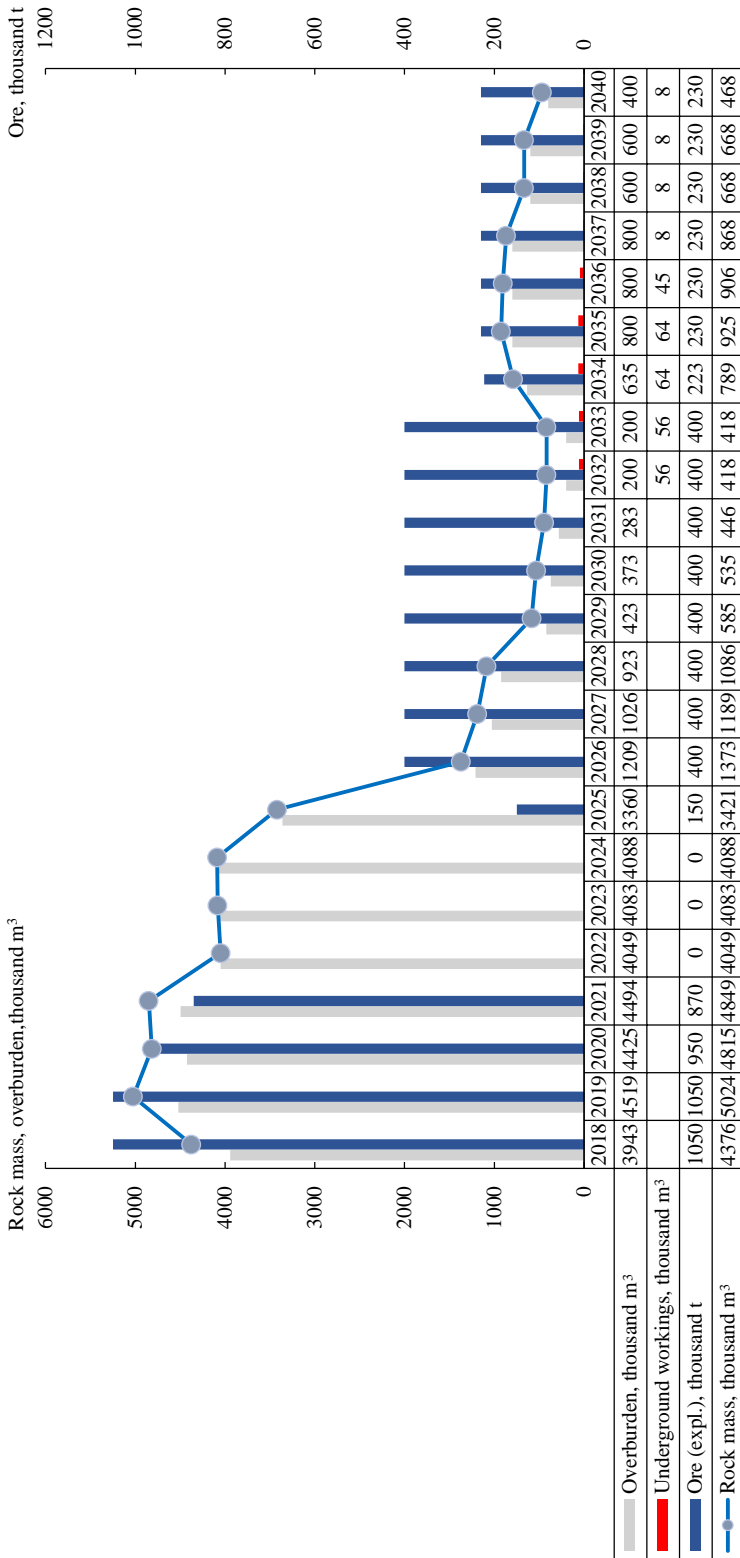


Fig. 4. The diagram schedule of Nyrubinsky open pit exploitation according to the innovative technology  
 Рис. 4. Календарный график разработки Нюрбинского карьера по инновационной технологии

of stripping by the steeply pitching ramps (2024). It will allow to reduce stripping and to ensure maximum value of a non-mining edge angle of inclination. At the present time there is the experience of using the robotized dump trucks in foreign open pits. Intensive research in this field is carried out by a domestic company called VIST Group [11, 12]. At the second stage of the transition from the steeply pitching scheme of stripping to the scheme of stripping by the peripheral road tunnel, the additional effect can be provided by means of reducing the costs for ventilation of the underground workings which are 20–25% as large as the costs on tunneling. This problem requires further detailed investigations and coordination with Rostekhnadzor.

**Table 3. Parameters of various schemes of Nyurbinsky open pit stripping and mining**  
**Таблица 3. Параметры различных схем вскрытия и разработки Ньюбинского карьера**

Parameter	Stripping scheme		
	Traditional	Steeply pitching ramps	Innovative scheme with variable geometry of non-mining edges
Open pit depth, m		750	
The angle of inclination of a non-mining edge, degrees	45–48	49–57	54–63
The volume within the contour of the open pit (as of 1st January, 2017):			
ore, million ton	9.7	9.7	9.7
overburden, million m <sup>3</sup>	358.0	135.0	44.9
rock mass, million m <sup>3</sup>	361.9	138.9	48.8
Average operating stripping ratio, m <sup>3</sup> /t	37.7	14.2	4.7

Conclusions and results application area. Fig. 4 presents a diagram schedule of Nyurbinsky open pit exploitation according to the innovative technology. Table 3 presents comparative parameters of various schemes of open pit stripping and mining.

Preliminary calculations have stated that the introduction of the innovative technology will allow to reduce stripping by 3–8 times as compared to the traditional stripping scheme and the schemes of stripping by the steeply pitching ramps. Economic benefit will be rub13.7 billion according to the preliminary estimation. The suggested technology can be used not only during the exploitation of kimberlite open pits, but also during the opencast exploitation of non-ferrous metal ore deposits and precious-metal ore deposits represented by round shaped steep deposits.

At the present time Yakutniproalmaz Institute and the Ural State Mining University carry out the detailed economic-engineering substantiation for the suggested innovative technology of exploitation with variable geometry of non-mining open edges. The research results have been granted the second class certificate in the nomination “The Innovative Project” of ALROSA PJSC innovative projects open competition in 2017.

#### REFERENCES

1. Chanturiia V. A., Trubetskoi K. N., Kaplunov D. R. [Integrated research and introduction of the innovative technologies of production and kimberlites deep processing]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2011, no. 1, pp. 10–13. (In Russ.)
2. Eremin G. M. [On a concept of full-thickness development of thick ore body by super-deep steep wall open pit with using underground excavations]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2016, no. 11, pp. 192–197. (In Russ.)
3. Zyrianov I. V., Tsybalova A. I. [CAT-740B testing at the steeply pitching ramps of Udachny open pit of ALROSA PJSC]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika – Mining Equipment and Electromechanics*, 2013, no. 9, pp. 22–25. (In Russ.)

4. Akishev A. N., Lel' Iu. I., Il'bul'din D. Kh., Musikhina O. V., Glebov I. A. [Technological solutions for the ALROSA group Nyurbinsky open pit deep horizons exposing and processing]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2017, no. 7, pp. 4–12. (In Russ.)
5. Akishev A. N., Kostyrin V. F. [Optimization of design solutions on Uibileiny open pit mining]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2000, no. 7, pp. 33–35. (In Russ.)
6. Hustrulid W. A., Seegmiller B., Stephansson O. In-the-wall haulage for open-pit mining. *Mining Engineering*, 1987, vol. 39, no. 2, pp. 119–123.
7. Liu B. W., Li S. C., Li W., Zhou J. Influence of underground mining direction under plane condition over slope under open-underground combined mining. Proc. of 2015 Int. Symp. "Safety and high efficiency mining in coal", pp. 180–187.
8. Akdag S., Basarir H., Karpuz C., Ozyurt M. Stability analysis and optimized slope angle for the iron ore open-pit mine. Proc. of the 24th Int. Mining Congress and Exhibition of Turkey, IMCET 2015, pp. 606–611.
9. Lel' Iu. I., Glebov A. V., Il'bul'din D. Kh., Musikhina O. V., Dunaev S. A. [Flowsheets of transition to new models of haulage trucks when cleaning-up deep open pits]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2015, no. 8, pp. 4–12. (In Russ.)
10. Nosenko A. S., Domnitskii A. A., Shemshura E. A. [Transport tunnels construction using the method with road headers]. *Izvestia vuzov. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki – News of the Higher Institutions. The North Caucasus Region. Engineering Sciences*, 2016, no. 3, pp. 63–70. (In Russ.)
11. Vladimirov D. A. [Substantiation of the robotized mining-engineering systems parameters in complicated conditions of mineral deposits opencast mining. Cand. eng. sci. abs. diss.] Magnitogorsk, 2016. 22 p. (In Russ.)
12. Trubetskoi K. N., Vladimirov D. Ia., Pytalev I. A., Popova T. M. [Robotized mining-engineering systems for mineral deposits opencast mining]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2016, no. 25, pp. 21–27. (In Russ.)

Received 10th July, 2018

**For citation:** Akishev A. N., Lel' Iu. I., Bokii I. V., Isakov S. V., Glebov I. A. Kimberlite deposits opencast mining innovative technology with variable geometry of non-mining open pit edges. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2018. No. 8. Pp. 5–15.

#### Information about authors:

**Akishev Aleksandr Nikolaevich** – Candidate of Engineering Science, Associate Professor, Head of Complex Department of Opencast Mining, Yakutniproalmaz Institute of ALROSA PJSC. E-mail: akishevan@alrosa.ru

**Lel' Iurii Ivanovich** – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Open Cut Mining, Ural State Mining University. E-mail: lel49@mail.ru

**Bokii Igor' Vladimirovich** – Candidate of Physical-Mathematic Science, Associate Professor, Head of the Laboratory of Geomechanics, Yakutniproalmaz Institute of ALROSA PJSC. E-mail: bokiy@rambler.ru

**Isakov Sergei Vladimirovich** – Candidate of Engineering Science, associate professor of the Department of Open Cut Mining, Ural State Mining University. E-mail: hemul92@mail.ru

**Glebov Igor' Andreevich** – senior researcher of the Institute of Mining, UB RAS. E-mail: gleb\_igor@mail.ru

### ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ НЕРАБОЧИХ БОРТОВ КАРЬЕРА

Акишев А. Н.<sup>1</sup>, Лель Ю. И.<sup>2</sup>, Бокий И. В.<sup>1</sup>, Исаков С. В.<sup>2</sup>, Глебов И. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский и проектный институт «Якутнипроалмаз», Мирный, Россия.

<sup>2</sup> Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия.

<sup>3</sup> Институт горного дела Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия.

**Цель исследований** заключается в расширении области применения открытого способа разработки алмазородных месторождений за счет внедрения инновационной технологии вскрытия с изменяемой геометрией нерабочих бортов карьеров.

**Актуальность исследований.** В настоящее время требуется решение проблемы доработки законтурных запасов руды алмазородных месторождений, залегающих ниже предельных границ карьеров, где применение традиционных технологий экономически неэффективно. Предлагаемая инновационная технология позволяет решить эту проблему.

**Методика проведения исследований.** Решение поставленной задачи производится в два этапа: переход с определенной глубины карьера с традиционной схемы вскрытия на схему вскрытия крутонаклонными автосъездами и переход на завершающем этапе на вскрытие законтурным автомобильным тоннелем, проходимым за зоной сдвига. При этом обосновывались оптимальная глубина перехода на новую схему вскрытия и необходимая скорость проходки тоннеля и квершлагов. При обосновании варианта вскрытия произведена оценка устойчивости нерабочих уступов и бортов в целом. Использо-



лись методы экономико-математического моделирования, технико-экономического и горногеометрического анализа.

**Результаты.** На примере разработки Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» установлено, что инновационная технология позволяет увеличить углы откосов бортов карьера с  $45^{\circ}$ – $48^{\circ}$  до  $57^{\circ}$ – $75^{\circ}$ , уменьшить объемы вскрыши в 3–8 раз и эффективно доработать запасы полезного ископаемого до глубины 750 м.

**Область применения результатов.** Предлагаемая технология может найти применение не только при разработке кимберлитовых карьеров, но также при открытой разработке месторождений цветных и благородных металлов, представленных крутопадающими залежами округлой формы.

**Ключевые слова:** карьер; схема вскрытия; уклон автосъезда; полноприводные автосамосвалы; угол откоса борта; тоннель; скорость проходки; комбайн; коэффициент устойчивости борта; роботизация.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-5-15

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чантурия В. А., Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р. Комплексные исследования и внедрение инновационных геотехнологий добычи и глубокой переработки кимберлитов // Горный журнал. 2011. № 1. С. 10–13.

2. Еремин Г. М. О концепции разработки рудного тела на всю его мощность сверхглубоким карьером при крутых бортах с применением подземных выработок // ГИАБ. 2016. № 11. С. 192–197.

3. Зырянов И. В., Цымбалова А. И. Испытания САТ-740В на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 9. С. 22–25.

4. Акишев А. Н., Лель Ю. И., Ильбульдин Д. Х., Мусихина О. В., Глебов И. А. Технологические решения по вскрытию и отработке глубоких горизонтов Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 7. С. 4–12.

5. Акишев А. Н., Костырин В. Ф. Оптимизация проектных решений по отработке карьера «Юбилейный» // Горный журнал. 2000. № 7. С. 33–35.

6. Hustrulid W. A., Seegmiller B., Stephansson O. In-the-wall haulage for open-pit mining // Mining Engineering. 1987. Vol. 39. No. 2. P. 119–123.

7. Liu B. W., Li S. C., Li W., Zhou J. Influence of underground mining direction under plane condition over slope under open-underground combined mining // Proc. of 2015 Int. Symp. “Safety and high efficiency mining in coal”. P. 180–187.

8. Akdag S., Basarir H., Karpuz C., Ozyurt M. Stability analysis and optimized slope angle for the iron ore open-pit mine // Proc. of the 24th Int. Mining Congress and Exhibition of Turkey, IMCET 2015. P. 606–611.

9. Лель Ю. И., Глебов А. В., Ильбульдин Д. Х., Мусихина О. В., Дунаев С. А. Технологические схемы перехода на новые модели автосамосвалов при доработке глубоких карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 8. С. 4–12.

10. Носенко А. С., Домницкий А. А., Шемшур Е. А. Строительство транспортных тоннелей с применением комбайновой технологии // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2016. № 3. С. 63–70.

11. Владимиров Д. А. Обоснование параметров роботизированных горнотехнических систем в осложненных условиях открытой разработки месторождений полезных ископаемых: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2016. 22 с.

12. Трубецкой К. Н., Владимиров Д. Я., Пыталев И. А., Попова Т. М. Роботизированные горнотехнические системы для открытой разработки месторождений полезных ископаемых // Горный журнал. 2016. № 25. С. 21–27.

#### Сведения об авторах:

**Акишев Александр Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, начальник комплексного отдела открытых горных работ Научно-исследовательского и проектного института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО). E-mail: akishevAN@alrosa.ru

**Лель Юрий Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: lel49@mail.ru

**Бокий Игорь Владимирович** – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией геомеханики Научно-исследовательского и проектного института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО). E-mail: bokiy@ Rambler.ru

**Исаков Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: hemul92@mail.ru

**Глебов Игорь Андреевич** – младший научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: gleb\_igor@mail.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМЕМБРАННЫХ ЭКРАНОВ НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

ДАВИДОВ С. Я.<sup>1</sup>, ВАЛИЕВ Н. Г.<sup>1</sup>, АПАКАШЕВ Р. А.<sup>1</sup>, ДРУЖИНИН А. В.<sup>1</sup>, БЕЛОВ В. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

<sup>2</sup> АО «Русская медная компания»  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Малышева, 51)

*Объект исследований* – укрывные устройства для применения при создании водонепроницаемых экранов на хвостохранилищах и водоемах, полужакрытых складах (навесах) на предприятиях, при создании изолирующих покрытий в дорожном строительстве и рекультивации нарушенных земель. В настоящей работе в качестве навесов предлагаются укрывные устройства, апробированные на медеплавильном производстве компании «Норильский никель» и Джезказганского горно-металлургического комбината.

*Цель исследований* – разработка научно-технических основ укрывного устройства, применяемого при создании водонепроницаемых экранов на хвостохранилищах, складах и водоемах, при реализации изолирующих покрытий в дорожном строительстве и рекультивации нарушенных земель. Выполнен аналитический обзор вариантов использования укрывных устройств в качестве полужакрытых складов (навесов), бескаркасных ангаров, пневмокаркасных сооружений для укрытия оборудования от воздействия окружающей среды, изолирующих покрытий при строительстве полигонов отходов производства различных классов опасности, а также в качестве противифльтрационных экранов площадок кучного выщелачивания и технических водоемов. Приведен пример возможного использования геомембраны для создания водонепроницаемого экрана при выполнении рекультивации хвостохранилища.

*Результатом работы* является разработка универсального укрывного устройства, обеспечивающего полную механизацию работ при укладке водонепроницаемого полотна как при размотке рулона, так и при работе с противоположным краем полотна.

*Применение полученных результатов* перспективно на промышленных объектах для минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Ожидаемые социально-экономические эффекты от использования разработанного укрывного устройства заключаются в совершенствовании технологических процессов, используемых в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, повышении производственной безопасности (включая экологическую).

*Ключевые слова:* горнодобывающая промышленность; экологическая безопасность; полужакрытые склады; бескаркасные ангара; геомембрана; рулон полотна.

**Цель работы.** Целью работы является разработка научно-технических основ укрывного устройства, применяемого при создании водонепроницаемых экранов на хвостохранилищах, складах и водоемах, при реализации изолирующих покрытий в дорожном строительстве и рекультивации нарушенных земель.

Процесс промышленного производства предполагает создание необходимых запасов сырьевых и вспомогательных материалов, обеспечение последовательного продвижения объекта труда между участками и цехами, а также накопление, комплектацию и отправку готовой продукции.

Сбор, сортировка и кратковременное хранение отходов производства должны производиться в специально отведенных местах. Отходы производства, содержащие токсичные вещества, должны собираться и храниться на предприятиях в изолированных противифльтрационными экранами местах, исключающих загрязнение почвы, воды, атмосферного воздуха [1].

К изолированным местам относятся полузакрытые склады (навесы), предназначенные для хранения материалов и изделий, подверженных порче от непосредственного воздействия атмосферных осадков. Уголь и кокс хранятся на открытых, специально оборудованных площадках, под навесами. В архитектурно-строительную часть полузакрытых складов входят навесы, которые представляют собой кровлю, поддерживаемую стойками. В качестве навесов могут быть использованы укрывные устройства [2–5], апробированные на медеплавильном производстве компании «Норильский никель» и Дзержинского горно-металлургического комбината. Такой вид навесов (кровли) используется на плоских крышах промышленных и торговых зданий, гаражей, складов, стадионов, автостоянок и иных хозяйственных пристроек [6].

Мобильные бескаркасные ангары из металлоконструкций, обтянутые или обшитые специальным тентом, либо пневмокаркасные сооружения могут быть использованы для укрытия оборудования от воздействия окружающей среды и организации круглогодичной работы мобильных модульных золотоизвлекающих фабрик.

Особенностью бескаркасных сооружений является применение самонесущих металлоконструкций. Ангары, выполненные по бескаркасной технологии, способны выдержать снеговую нагрузку до  $480 \text{ кг/м}^2$  и ветровую нагрузку до  $150\text{--}200 \text{ км/ч}$ .

В отличие от бескаркасных сооружений, в пневмокаркасных сооружениях роль опорных балок играют наполняемые воздухом конструкции. Пневмокаркасные сооружения, в отличие от бескаркасных, выдерживают снеговую нагрузку до  $130 \text{ кг/м}^2$  и ветровую нагрузку до  $150 \text{ км/ч}$ .

В настоящее время неотъемлемой частью организации процесса рационального природопользования является обеспечение экологической безопасности при добыче и переработке полезных ископаемых. В связи с этим постоянно расширяется сфера применения геомембран из различных материалов в качестве изолирующих покрытий.

Наиболее важным качеством геомембран является способность удерживать воду и различные токсичные растворы, имеющие как щелочную, так и кислотную реакции. Кроме того, геомембраны должны иметь высокую прочность на разрыв, прокалывание и деформации, что дает возможность использовать их вместо традиционных материалов, применяющихся для создания гидроупорного слоя, например некоторых видов глины. При этом применение геомембран вместо глины часто бывает не только дешевле, но и позволяет получить значительно более высокие качественные показатели в течение длительного периода времени, так как только гарантийный срок службы геомембран, который обязаны предоставлять на свою продукцию производители, составляет пятьдесят лет.

Технические параметры и работоспособность полиэтиленовых мембран в условиях эксплуатации объекта позволяют применять их в горнодобывающей промышленности:

- при проектировании и строительстве полигонов отходов производства различных классов опасности – твердых и жидких;
- в качестве противодиффузионных экранов площадок кучного выщелачивания, технических водоемов, для покрытия хвостовых дамб;
- при вторичной гидроизоляции резервуарных парков;
- для антикоррозионной и гидроизоляционной защиты металлических, железобетонных конструкций (промышленных резервуаров, заглубленных частей сооружений, инженерных сетей и систем инженерно-технического обеспечения).

Эффективным способом добычи золота является метод кучного выщелачивания. При этом руду необходимо складировать на открытых площадках и проли-

вать реагентами, содержащими цианиды, попадание которых в грунт должно быть полностью исключено. Кроме того, реагенты, проходя сквозь руду, растворяют содержащееся в куче золото и вытекают наружу, где их и собирают для дальнейшего осаждения металлического золота. При этом нельзя допустить утечки продуктивного раствора в грунт.

Надежным способом организации площадок для кучного выщелачивания является укладка геомембраны, на которую и выгружают руду с последующей обработкой кучи реагентами. При этом мембрана способна обеспечить защиту от перечисленных проблем.

Технология кучного выщелачивания предполагает устройство специального полигона. Его назначение: обеспечить штабелирование породы с целью ее выщелачивания; не допустить попадания в почву и окружающую среду агрессивных отходов производства.

В этих случаях тоже можно применить геомембрану для предупреждения утечки воды из искусственного гидротехнического сооружения. Для этого сначала производят проектирование водоема, затем извлекают грунт и освобождают дно от камней, корней и прочих неровностей. Производят планировку дна с подсыпкой глиной до толщины 0,3 м и песка до толщины 0,2 м. Затем укладывают геомембрану и формируют береговую насыпь или оформляют берега иным способом. Затем поверх мембраны делают отсыпку, формируя более естественные берега и дно. После чего приступают к постепенному заполнению водоема водой, периодически контролируя уровень воды на предмет утечек. На завершающем этапе работ устанавливают необходимое водоочистное оборудование.

Отсечка воды с помощью геомембраны позволяет поддерживать дорожное полотно и бетонные конструкции в сухом виде, что чрезвычайно полезно в условиях российского климата. Вода из грунта, попадая внутрь бетонных отливок или в дорожное полотно, замерзает при понижении температуры. Это приводит к разрушению и морозному пучению конструкций. Устройство сплошной гидроизоляции под дорожным полотном или на заглубляемых в грунт узлах позволяет надежно защититься от влаги и избежать подобных проблем.

Материал геомембраны дает возможность уменьшить толщину слоя гидроизоляции, а также распределить нагрузку, а это, в свою очередь, чрезвычайно эффективно в строительстве тоннелей.

**Результаты работы.** Разработано устройство для применения при создании водонепроницаемых экранов на хвостохранилищах, полузакрытых складах (навесах) на предприятиях и водоемах, при создании изолирующих покрытий в дорожном строительстве и рекультивации нарушенных земель.

Задачей разработки является обеспечение полной механизации работ укладки водонепроницаемого полотна как при размотке рулона, так и при работе с противоположным краем полотна.

Устройство с противофильтрационным полотном (рис. 1) [7–9] содержит приводное устройство (тележку) 1 с поддоном 2. На подвеске 3 тележки 1 на оси 4 установлен барабан 5 с закрепленным на нем одним концом гибким полотном 6. Для облегчения замены барабана 5 с рулоном полотна 6 поддон 2 выполнен с уклоном в сторону размотки этого полотна. Противоположный конец полотна 6 выполнен в виде рукава 7 (рис. 1, б), в который вставлена съемная поперечная тяга 8.

Упругие элементы 9 закреплены посредством опоры 10 на грунтовое основание 11. Съемная опора 13 (рис. 1, б и в) предназначена для закрепления на подвеске 3 тележки 1 упругих элементов 9. Для прижатия середины полотна 6 к покрываемой поверхности грунтового основания 11 и уменьшения подъема покрытия 6 над поверхностью грунтового основания 11 под воздействием ветро-

вой нагрузки предусмотрено использование валиков 12, уложенных поперек полотна. Валики 12 составлены из телескопических труб. Поверхность труб должна быть без острых краев и покрыта гибким материалом.

Укладка противофильтрационного полотна 6 осуществляется механизировано одним из двух возможных способов.

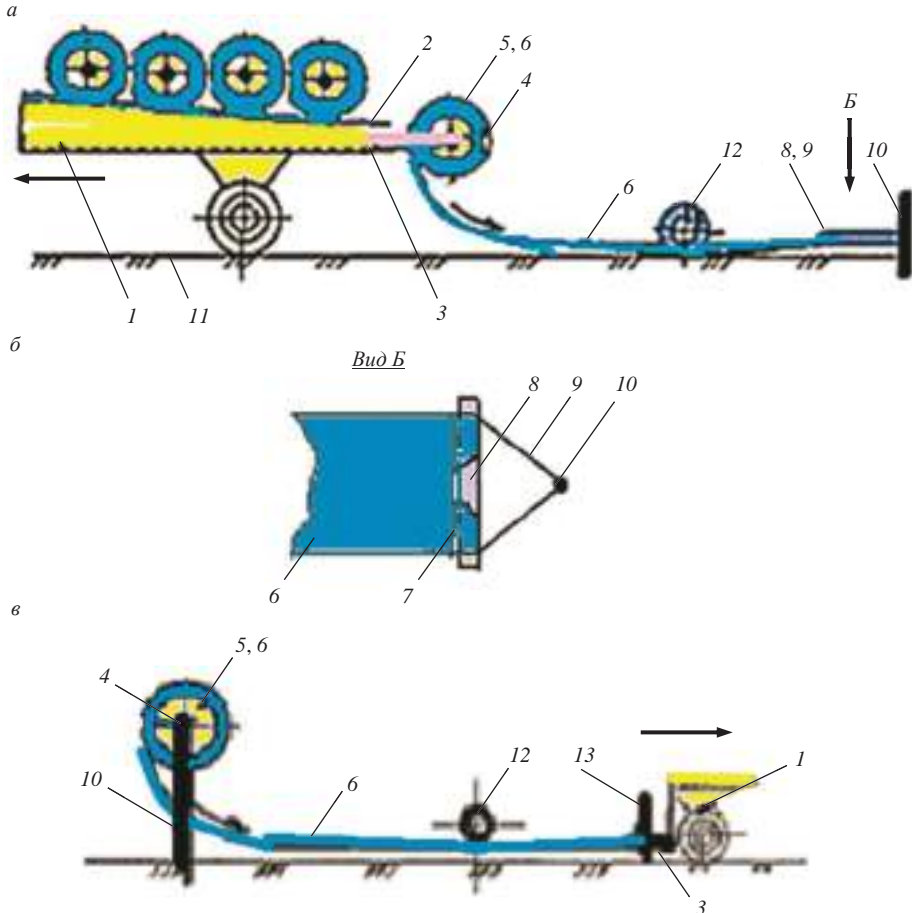


Рис. 1. Схема укрывного подвижного устройства, упругие элементы которого закреплены на грунтовом основании – а; вид Б – б; схема укрывного подвижного устройства, упругие элементы которого закреплены на приводном устройстве – в  
 Fig. 1. The scheme of a traversing cover device, flexible elements of which are fixed at the foundation – а; view along arrow Б – б; the scheme of a traversing cover device, flexible elements of which are fixed at the driving – в

При первом способе (рис. 1, а) противоположный конец полотна 6 закрепляется к упругим элементам 9 с помощью съемной поперечной тяги 8. Упругие элементы 9 крепятся посредством опоры 10 на грунтовое основание 11. При удержании противоположного конца полотна 6 посредством опоры 10 в неподвижном состоянии тележка 1 откатывается, разматывая рулон полотна 6. Середина полотна 6 в процессе разматки рулона с барабана 5 находится в прижатом валиками 12 состоянии к укрываемой поверхности грунтового основания 11. В данном случае барабан 5 с рулоном полотна 6 находится на подвижной тележке 1.

После разматки рулона барабан 5 снимается с подвесок 3, а на его место по наклонной плоскости поддона 2 скатывается следующий барабан с рулоном полотна. Процесс разматки повторяется.

При втором способе (рис. 1, в) барабан 5 с рулоном полотна 6 устанавливается стационарно посредством опоры 10 на грунтовое основание 11. Упругие элементы 9 полотна 6 закрепляются с помощью съемной опоры 13 на подвеске 3 тележки 1. Тележка 1 откатывается, разматывая рулон полотна 6 с барабана 5, закрепленного на опоре 10. В данном случае барабан 5 с рулоном полотна 6 находится на неподвижной опоре 10.

**Анализ и обсуждение.** Расчет толщины геомембраны может быть произведен по формуле, рекомендуемой компанией «Техполимер» [10]:

$$\delta = 150qdK_d / (\sigma K_n),$$

где  $\delta$  – искомая толщина геомембраны, мм;  $q$  – большее из двух значений нагрузок: в период укладки или в период эксплуатации, МПа (0,25–0,71);  $d$  – наибольший диаметр частиц грунта, мм;  $K_d$  – динамический коэффициент (1,0–1,8);  $\sigma$  – прочность геомембраны на разрыв, МПа (см. табл. 4 из [10]);  $K_n$  – коэффициент эффективности защитных прокладок (1,0–1,6).

Толщина геомембраны рассчитывается исходя из сохранности при укладке и в период эксплуатации в теле сооружения.

Геомембраны могут быть армированными. Армирующий материал может быть из тканого геотекстиля, стекловолокна и других материалов. Изготавливают и перевозят геомембраны обычно в рулонах шириной от 1,5 до 10,0 м. Распространенная толщина геомембран колеблется в диапазоне от 1,0 до 3,5 мм. Монтаж противофильтрационного экрана выполняется при температуре не выше +45 °С летом и не ниже –5 °С зимой. Препятствием для качественной укладки являются сильный ветер и интенсивные атмосферные осадки [11].

**Область применения результатов.** В настоящее время реализуется проект ликвидации хвостохранилища промышленных отходов на территории предприятия «Карабашмедь» в Челябинской области. Для улучшения экологической ситуации планируется выровнять поверхность хвостохранилища, нарастить и укрепить дамбу, сделать водонепроницаемый экран из нескольких слоев суглинков. Сверху будет уложен плодородный слой почвы. В результате на месте хвостохранилища появится благоустроенный сквер с элементами озеленения [12].

Технический этап рекультивации земельного участка предусматривает комплекс работ, направленный на восстановление нарушенных земель при размещении отходов бывшей обогатительной фабрики Карабашского медеплавильного комбината. Потребность в реализации намечаемой рекультивации обусловлена целесообразностью исключения возможности негативного воздействия на компоненты окружающей среды. Ликвидация хвостохранилища значительно отразится на оздоровлении природной среды района.

Для технологичного решения поставленной задачи авторы настоящей статьи предлагают выполнить водонепроницаемый экран в виде геомембраны из полимерного материала. При этом устройство с противофильтрационным полотном [9] позволит обеспечить полную механизацию работ по укладке водонепроницаемого полотна как при размотке рулона, так и при работе с противоположным краем полотна.

**Выводы.** Результатом настоящей работы является разработка универсального укрывного устройства, обеспечивающего полную механизацию работ при укладке водонепроницаемого полотна. Применение полученных результатов перспективно на промышленных объектах для минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Ожидаемые социально-экономические эффекты от использования разработанного укрывного устройства заключаются в совершенствовании

нии технологических процессов, используемых в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, повышении производственной безопасности (включая экологическую).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охрана труда при складировании материалов. URL: <https://studfiles.net/preview/5154393/> (дата обращения 02.07.2018).
2. Давыдов С. Я., Семин А. Н., Валиев Н. Г., Горбунов А. В., Олейникова Л. Н. Энергосберегающие технологии при использовании приводных укрывных устройств в промышленности // Новые огнеупоры. 2015. № 10. С. 18–21.
3. Davydov S. Ya., Semin A. N., Valiev N. G., Gorbunov A. V., Oleinikova L. N. Energy conservation technologies in the use of a power-driven covering apparatus in industry. Refractories and Industrial Ceramics. 2016. Januari. Vol. 56. No. 5. P. 461–464.
4. Укрывное устройство: пат. 2543625 Рос. Федерация. № 2013142028; заявл. 13.09.2013; опубл. 10.03.2015. Бюл. № 7. 3 с.
5. Укрывное устройство: пат. 153240 Рос. Федерация. № 2015106164; заявл. 02.12.2014; опубл. 10.07.2015. Бюл. № 19. 3 с.
6. Мембранная кровля: технология монтажа. URL: <https://krysha-expert.ru/membrannaya-krovlya-tekhnologiya-montazh> (дата обращения 02.07.2018).
7. Устройство для раскладки пленки при образовании противодиффузионных экранов: пат. 488891 СССР. № 1945019; заявл. 17.07.1973; опубл. 25.10.1975. Бюл. № 39. 5 с.
8. Способ создания противодиффузионного экрана: пат. 2598669 Рос. Федерация. № 2014137906; заявл. 18.09.2014; опубл. 27.09.2016. Бюл. № 27. 3 с.
9. Способ создания водонепроницаемого экрана: заявка на изобретение № 2018122731 Рос. Федерация; заявл. 21.06.2018.
10. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Рекомендации по применению геосинтетических материалов для противодиффузионных экранов, каналов, водоемов и накопителей. Новочеркасск, 2014. 64 с. URL: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2015/baev.pdf> (дата обращения 02.07.2018).
11. Устройство противодиффузионного экрана. URL: <http://www.geoplenka.ru/articles/montage-geomembranes/device-protivofiltratsionnogo-screen/> (дата обращения 02.07.2018).
12. Проект РМК по рекультивации хвостохранилища в Карабаше одобрили эксперты // Вечерний Челябинск. 2017. 14 декабря. URL: <https://vecherka.su/articles/news/132071/> (дата обращения 14.12.2017).

Поступила в редакцию 10 июля 2018 года

**Для цитирования:** Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Апакашев Р. А., Дружинин А. В., Белов В. А. Использование геомембранных экранов на горнопромышленных предприятиях // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 16–22.

#### Сведения об авторах:

**Давыдов Станислав Яковлевич** – доктор технических наук, профессор кафедры информатики, главный научный сотрудник отдела хозяйственных НИР Уральского государственного горного университета. E-mail: [davidovtrans@mail.ru](mailto:davidovtrans@mail.ru)

**Валиев Нияз Гадым Оглы** – доктор технических наук, профессор, первый проректор, заведующий кафедрой горного дела Уральского государственного горного университета. E-mail: [science@ursmu.ru](mailto:science@ursmu.ru)

**Апакашев Рафаил Абдрахманович** – доктор химических наук, профессор, заместитель проректора по научной работе Уральского государственного горного университета. E-mail: [parknedra@yandex.ru](mailto:parknedra@yandex.ru)

**Дружинин Алексей Владимирович** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой информатики Уральского государственного горного университета. E-mail: [aleksey.druzhinin@m.ursmu.ru](mailto:aleksey.druzhinin@m.ursmu.ru)

**Белов Владимир Адольфович** – кандидат технических наук, заместитель директора по подземным горным работам АО «Русская медная компания». E-mail: [belov\\_vladimir@rcc-group.ru](mailto:belov_vladimir@rcc-group.ru)

#### THE USE OF GEOMEMBRANE SCREENS AT MINING ENTERPRISES

Davydov S. Ia.<sup>1</sup>, Valiev N. G.<sup>1</sup>, Apakashev R. A.<sup>1</sup>, Druzhinin A. V.<sup>1</sup>, Belov V. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

<sup>2</sup> Russian Copper Company, Ekaterinburg, Russia.

*The subject of the research is cover devices applied during the creation of waterproof screens at tailings storages and reservoirs, semi-enclosed storage facilities (sheds) at enterprises, during the creation of insulating coatings in road construction and disturbed land reclamation. The present work suggests applying cover devices, proven at the copper-smelting works of Nor Nickel Group and the Dzhzhkazgan Mining and Metallurgical Plant.*

**Research aims** to develop scientific-engineering fundamentals of the cover device applied under the creation of waterproof screens at tailings storages, storage facilities, and reservoirs and under the realization of insulating coatings in road construction and disturbed land reclamation. Analytical review has been carried out concerning various uses of cover devices in the capacity of semi-enclosed storage facilities (sheds), frameless hangars, and pneumoframe constructions to cover the equipment from environmental influences, insulating coverings during the construction of polygons for waste products of various hazard classes, as well as in the capacity of impermeable screens for heap leaching pads and artificial reservoirs. An example is given of a possible use of a geomembrane for the creation of a waterproof screen under the reclamation of a tailings storage.

**Research results** in the development of a universal cover device providing total mechanization of work when laying waterproof fabric during both reeling off a roll and working with an opposite side of a fabric.

**Results application** is promising at industrial facilities to minimize negative environmental impacts. The expected social-economic effects from the use of the developed cover device are in the updating of workflows for mining and processing industry, occupational safety (including environmental security) and industrial automation improvement.

**Key words:** mining industry; environmental security; semi-enclosed storage facilities; frameless hangars; geomembrane; roll of fabric.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-16-22

#### REFERENCES

1. Provision. Occupational safety at materials warehousing. Available at: <https://studfiles.net/preview/5154393/> (Access date 2nd July, 2018).
2. Davydov S. Ia., Semin A. N., Valiev N. G., Gorbunov A. V., Oleinikova L. N. [Energy saving technologies under the industrial use of the near-water cover devices]. *Novye ognepory – New Refractories*, 2015, no. 10, pp. 18–21. (In Russ.)
3. Davydov S. Ia., Semin A. N., Valiev N. G., Gorbunov A. V., Oleinikova L. N. Energy conservation technologies in the use of a power-driven covering apparatus in industry. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2016. Januari. Vol. 56. No. 5. P. 461–464.
4. [Cover device]. Patent RF no. 2013142028, 2015. (In Russ.)
5. [Cover device]. Patent RF no. 2015106164, 2015. (In Russ.)
6. Membrane roof: installation procedure. Available at: <https://krysha-expert.ru/membrannaya-krovlya-tehnologiya-montazh> (Access date 2nd July, 2018)
7. Kudelia G. M., Kharin A. I., Grigorenko P. P. [A device to lay the film to form impermeable screens]. Patent USSR no. 1945019, 1975. (In Russ.)
8. Baev O. A., Shchedrin V. N., Kosichenko Iu. M., Garbuz A. Iu., Kokarev Ia. V., Baeva A. M. [A method of creating impermeable screen]. Patent RF no. 2598669, 2016. (In Russ.)
9. [A method of creating waterproof screen]. Patent application no. 2018122731, 2018. (In Russ.)
10. Kosichenko Iu. M., Baev O. A. [Recommendations on the use of geosynthetic materials for impermeable screens, channels, reservoirs, and containment ponds]. *Novocherkassk*, 2014. 64 p. Available at: <http://www.rosniipm.ru/izdan/2015/baev.pdf> (Access date 2nd July, 2018). (In Russ.)
11. [Impermeable screen arrangement]. Available at: <http://www.geoplenka.ru/articles/montage-geomembranes/device-protivofiltratsionnogo-screen/> (Access date 2nd July, 2018). (In Russ.)
12. RMK project on the reclamation of a tailings storage in Karabash has been approved by the experts. *Vechernii Cheljabinsk*, 2017, December 14th. Available at: <https://vecherka.su/articles/news/132071/> (Access date 14th December, 2017).

#### Information about authors:

**Davydov Stanislav Iakovlevich** – Doctor of Engineering Science, professor of the Department of Informatics, senior researcher of the Department of Economic Agreements on Scientific Research, Ural State Mining University. E-mail: davidovtrans@mail.ru

**Valiev Niiaz Gadyrn Ogly** – Doctor of Engineering Science, Professor, First pro-rector, Head of the Department of Mining Engineering, Ural State Mining University. E-mail: science@ursmu.ru

**Apakashev Rafail Abdrakhmanovich** – Doctor of Chemical Science, Professor, the deputy of a vice-rector for academic affairs, Ural State Mining University. E-mail: parknedra@yandex.ru

**Druzhinin Aleksei Vladimirovich** – Candidate of Engineering Science, Head of the Department of Informatics, Ural State Mining University. E-mail: aleksey.druzhinin@m.ursmu.ru

**Belov Vladimir Adol'fovich** – Candidate of Engineering Science, Deputy Director of Underground Mining, Russian Copper Company. E-mail: belov\_vladimir@rcc-group.ru



## РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ РУД НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

ХОМЕНКО О. Е.<sup>1</sup>, ЛЯШЕНКО В. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»  
(Украина, г. Днепр, просп. Яворницкого, 19)

<sup>2</sup> Украинский научно-исследовательский и проектно-исследовательский институт  
промышленной технологии  
(Украина, г. Желтые воды, просп. Свободы, 37)

**Введение.** *Подземная разработка рудных месторождений характеризуется ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий, повышением требований к охране окружающей среды и недр, а также безопасности жизнедеятельности человека в зоне влияния объектов горно-рудного производства.*

**Цель работы.** *Создание и внедрение ресурсосберегающих технологий добычи руд на больших глубинах на основе результатов анализа проявления энергии горного давления вокруг подземных выработок путем раскрытия физической сущности феномена их зонального капсулирования.*

**Методология.** *Применялся усовершенствованный метод шахтных, лабораторных и экспериментальных исследований, метод математического и физического моделирования, а также теоретический анализ и обобщение результатов исследований по стандартным и новым методикам.*

**Новизна.** *Усовершенствована существующая классификация методов исследования напряженно-деформированного состояния горных пород посредством использования признака «способ представления массива» по функциональному назначению: натурные (промышленные), физические (лабораторные) и аналитические (теоретические). Установлено, что относительное количество перенаправленной энергии горного давления на поддержание горных выработок описывается параболо-гиперболической зависимостью, на базе чего разработаны геоэнергетические технологии подземной разработки рудных месторождений.*

**Результат.** *Разработаны технологические подходы к проектированию трасс нарезных и подготовительных выработок и геоэнергетические виды крепления в статических условиях зонального капсулирования на базе предложенных методологических принципов управления энергией предохранительной капсулы: противодействие, уравнивание, содействие, устранение и перенесение.*

**Практическая значимость.** *Определены технологические параметры проведения буровзрывных и очистных работ в условиях динамического деформирования массива в границах энергетических зон предохранительных капсул путем разработки устойчивой формы выработок подсежки и отрезки для шахт ЧАО «ЗЖРК». Предложено изменение направлений бурения эксплуатационных скважин для шахт ЧАО «ЗЖРК», а также рациональные расстояния между скважинами для шахт ГП «ВостГОК». Определена экономическая эффективность технологических решений по усовершенствованию подготовительных, нарезных, буровзрывных и очистных работ для рудных шахт Украины по удельным показателям эффективности горных работ.*

**Ключевые слова:** *крепость пород; горное давление; состояние горных пород; капсула выработки; ресурсосберегающие технологии.*

**Введение.** В настоящее время глубины разработки рудных месторождений достигли отметки 1500 м, что привело к значительному ухудшению геодинамических условий добычи рудного сырья. Так, например, упругая потенциальная энергия Украинского кристаллического щита начала проявляться не только в виде шелушений и заколообразований, но и в виде горных ударов, стреляний и землетрясений различной амплитуды. Это привело к потере горных выработок

и запасов полезных ископаемых, повреждению объектов, травмированию и гибели людей. Поэтому создание и внедрение ресурсосберегающих технологий добычи руд на больших глубинах на основе результатов анализа проявления энергии горного давления вокруг подземных выработок путем раскрытия физической сущности феномена их зонального капсулирования – важная научная, практическая и социальная задача [1, 2].

**Теория и методы исследования.** Авторами выполнены исследования в области создания и внедрения ресурсосберегающих технологий добычи руд на больших глубинах на основе результатов анализа проявления энергии горного давления вокруг подземных выработок путем раскрытия физической сущности феномена их зонального капсулирования. Проанализированы физические свойства горных пород и новые гипотезы о горном давлении с учетом оценки степени устойчивости обнажений, выявления закономерностей их деформирования и разрушения, увязки извлечения руд и пород во времени и пространстве, определения параметров конструктивных элементов систем разработки, способов крепления и соответствующих типов крепи, промышленные, лабораторные и теоретические исследования, а также анализ и обобщение результатов исследований по стандартным и разработанным методикам [3].

**Обсуждение и оценка полученных результатов.** Разработкой технологий подземной добычи полезных ископаемых в напряженных породах активно занимались ученые Российской Федерации, Украины, Республики Казахстан, Республики Кыргызстан, Германии, Австрии, Швейцарии, Франции, Англии, США, Канады, ЮАР и других развитых горнодобывающих стран мира. Исследователи учитывали изменения напряженности массива по степени влияния на параметры крепей выработок и систем разработки. Прикладной формат большинства научных разработок, которые основывались на принципе противодействия возрастающей энергии горного давления, ставил целью только минимизировать затраты на добычу. Такой подход сделал невозможным раскрытие физической сущности явления зональной дезинтеграции горных пород, которое проявляется вокруг всех подземных выработок, что несколько приостановило развитие фундаментальных теорий о горном давлении. За несколько последних десятилетий это стало значительной преградой на пути создания новых гипотез, теорий или методов, описания и моделирования зонального структурирования массива вокруг горных выработок [4–10].

**Классификация методов исследования состояния горных пород.** Разработка месторождений в разнообразных условиях залегания при разных свойствах руд и пород характеризуется растрескиванием, расслаиванием, заколообразованием, обрушением, удароопасностью и другими формами проявления энергии горного давления. Анализ горнотехнических и геодинамических условий разработки рудных месторождений Украины показал, что динамические проявления горного давления указывают на высокую обеспеченность отечественных рудных месторождений упругой потенциальной энергией горных пород. Накопление напряжений в массиве и разрушение горных пород, возникающие в процессе отработки месторождений, изучаются разнообразными методами. В основу большинства применяемых методов исследований положен принцип зависимостей разных свойств горных пород от их напряженно-деформированного состояния под воздействием естественных и искусственных энергетических полей в массиве.

Несмотря на многообразие применяемых методов и средств диагностики и контроля напряженно-деформированного состояния массива, по функциональному назначению их можно объединить в три класса: натурные (промышленные), физические (лабораторные) и аналитические (теоретические). Классы подразде-

ляются на группы (визуальные, маркшейдерские, механические, геофизические и другие) и далее на виды. При помощи признака «способ представления массива» была усовершенствована существующая классификация (табл. 1) [11].

Создание аналитической модели, адекватно описывающей явление зонального капсулирования горных выработок как одного из непознанных феноменов

**Таблица 1. Классификация методов исследования напряженно-деформированного состояния горных пород**

**Table 1. Classification of rocks stress-strained state research methods**

Класс	Группа	Вид
I. Натурные (промышленные)	Визуальные	Наблюдения и оценки
	Маркшейдерские	Маркшейдерские съемки
	Механические	Разгрузки массива Компенсационной нагрузки Разности давлений Упругих включений Деформации скважин Глубинных реперов
	Геофизические	Акустические Ультразвуковые Радиометрические Электрометрические Геомагнитные
II. Физические (лабораторные)	Исследования свойств пород	Плотностные Механические
	Эквивалентные материалы	Моделирования на прессах Центробежного моделирования
	Оптико-поляризационные	Моделирования на прессах Центробежного моделирования Объемной фотоупругости
	Электродинамических аналогий	Электрических сеток Электропроводных материалов
III. Аналитические (теоретические)	Механики горных пород	Сплошной среды Упругости Пластичности Ползучести Граничных разностей Граничных элементов Конечных элементов
	Синергетические	Энтропийные Термодинамические Энергетические

физического мира, возможно при использовании синергетических методов исследования: энтропийных, термодинамических, энергетических. Термодинамический метод, созданный В. Ф. Лавриненко, апробирован и широко применяется при моделировании. Основы энтропийного метода в рамках термодинамической теории была доработаны и расширены для использования в качестве обособленного метода исследования. Далее на базе энтропийного метода, который определяет параметры ненарушенного массива, и термодинамического метода, который моделирует состояние массива в приконтурной зоне (зоне разгрузки), был разработан еще один синергетический метод, который является энергетическим. Он позволяет моделировать состояние массива в энергетических зонах, которые

формируют предохранительную капсулу, и описывать взаимодействие механической, термодинамической и других видов энергий [12].

**Определение размеров и формы энергетических зон в капсуле.** Формирование горной выработки является причиной нарушения энергетического баланса ненарушенного массива, что обуславливает возникновение и протекание в нем самоорганизующихся термодинамических процессов путем преобразования потенциальной энергии в работу деформации пород. В результате этих процессов в пределах вмещающего массива появляются энергетические поля, формирующие обособленные энергетические зоны. Градиент объемной плотности потенциальной энергии в контуре выработки и окружающем ее массиве предопределяет интенсивность протекания процесса деформирования минерального вещества в виде шелушения, отслоения, обрушения, стреляния или горного удара. Градиент температур рудничной атмосферы в выработке и породах, окружающих ее, определяет уровень фактических термических напряжений на поверхности обнажения [13].

**Таблица 2. Компоненты потенциальных напряжений в ненарушенном массиве горных пород Украинского кристаллического щита**

**Table 2. The components of potential stresses within the unbroken rock massif of the Ukrainian Crystalline Shield**

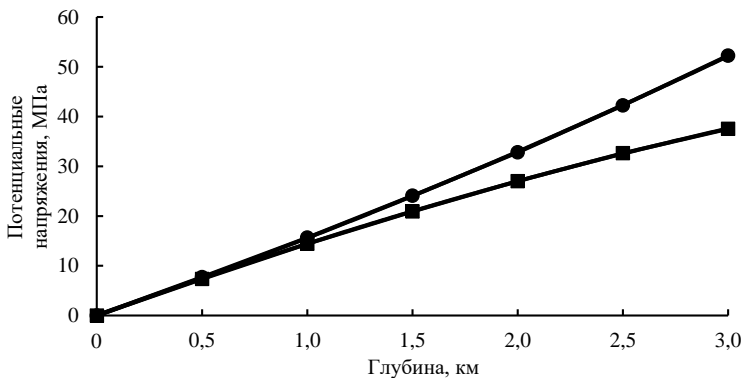
Глубина $H$ , м	Давление $\sigma_z$ , МПа	Фактические внешние напряжения, МПа		Радиус круга внутренних напряжений $R_s$ , м	Упругие потенциальные напряжения, МПа	
		вертикальные $\sigma_{zф}$	горизонтальные $\sigma_{хф}$		горизонтальные $\Delta\sigma_{x(y)} = \Delta\sigma_{y(x)}$	вертикальные $\Delta\sigma_{z(y)}$
500	15,0	7,72	15,0	7,72	7,72	7,35
1000	30,0	15,64	30,0	15,64	15,64	14,33
1500	45,0	24,08	45,0	24,08	24,08	20,92
2000	60,0	32,80	60,0	32,80	32,80	27,02
2500	76,0	42,24	76,0	42,24	42,24	32,64
3000	91,0	52,25	91,0	52,25	52,25	37,53

В результате нарушения механического и, как следствие, энергетического равновесия ненарушенного массива вокруг выработки образуется несколько зон, в которых протекают процессы преобразования потенциальной энергии в работу деформирования пород и перехода теплоты от нагретого массива к рудничной атмосфере. Энергетические зоны характеризуются более высокими параметрами интенсивности: напряжения, температуры, плотности, намагниченности – по сравнению с нетронутым массивом. В зависимости от условий проведения выработки (физические свойства пород, глубина заложения, форма сечения, габаритные размеры, виды крепления) будут варьироваться размеры и форма энергетических зон. Расчетные значения коэффициента формы энергетических зон  $\lambda$  для руд и пород прочностью 40–180 МПа, которые определяются согласно расчетным напряжениям, приведены в табл. 2 [14].

Связанные с деформациями упругие напряжения являются потенциальными, поскольку работа, которую они могут выполнить, зависит от величины обратной деформации, возникающей при частичном или полном снятии внешней нагрузки. В результате приращений потенциальной энергии в горных породах Украинского кристаллического щита только часть ее  $\Delta W_\sigma$  участвует в процессах деформирования. Возрастание вертикального давления до 91 МПа на глубине до 3000 м приводит к перераспределению потенциальной энергии в массиве, которая составляет для вертикальных упругих потенциальных напряжений 57 %, для

горизонтальных – 95 %. Полученные квадратичные зависимости потенциальных напряжений, действующих в ненарушенном массиве горных пород Украинского кристаллического щита, представлены на рис. 1 [14].

Для определения количества энергии при креплении и поддержании выработок необходимо найти разницу между вертикальным давлением массива на крепь и величиной отпора, создаваемой крепежной системой выработки. Для этого воспользуемся экспресс-методикой, основанной на учете изменения формы энергетических зон  $\lambda$  для различной прочности пород Кривбасса (рис. 2) [15]. Уменьшение коэффициента  $\lambda$  от 1 до 0 отображает возрастание горного давления пород на крепь выработки, величина которого на  $1 \text{ м}^2$  крепи со стороны кровли определяется как объем массива, заключенного в приконтурной энергетической зоне, и находится как разность между вертикальной полуосью приконтурной зоны  $a$  и половиной высоты подготовительной  $0,5h$  или очистной  $0,5l_{np}$  выработки:  $P_m = \gamma(a - 0,5h)$ , МПа.



Напряжения: ● – горизонтальные,  $\Delta\sigma_{x(y)} = \Delta\sigma_{y(y)}$ ; ■ – вертикальные,  $\Delta\sigma_{z(y)}$

Рис. 1. Изменение потенциальных напряжений, действующих в ненарушенном массиве горных пород

Fig. 1. Dependences of potential stresses acting within an unbroken rock massif

Граничным значением является устойчивость контура выработки, при котором минимальное значение  $\lambda$  принимают равным 0,5, что соответствует использованию принципов уравнивания, содействия и устранения. Если значение  $\lambda$  приближается к 0,5, то давление пород на крепь существенно возрастает и предопределяет применение при разработке крепежных и поддерживающих систем принципов перенесения и противодействия.

Расчеты показали, что, например, для подготовительной выработки, проводимой в породах прочностью 80 МПа, значения  $\lambda = 0,9 - a = 0,44$  м, при  $0,8 - a = 0,68$  м, при  $0,7 - a = 1,0$  м, при  $0,6 - a = 1,42$  м, при  $0,5 - a = 2,0$  м и при  $0,1 - a = 16$  м. Для очистных выработок эти значения в среднем в 2 раза выше. Помимо этого, относительное количество используемой энергии находится в эквивалентном отношении к давлению массива на контуре выработки [16].

**Исследование и оценка этажно-камерной системы разработки с отбойкой руды из подэтажных штреков.** Исследование состояния горных пород вокруг очистных камер выполнялось для базового и предлагаемого вариантов заложения подэтажных буровых штреков на примере очистного блока в маркшейдерских осях 110–118 по залежи Основная карьера 2 шахты «Терновская» ПАО «Криворожский ЖРК» гор. 1200 м. Теоретические исследования по определению размеров и форм областей возможного разрушения массива производили с помощью энергетического метода. Распределение областей возможного разрушения в

окрестности очистных камер представлено на рис. 3, а. Из рисунка видно, что буровые штреки попадают в области интенсивного разрушения пород. Лабораторные исследования проводили на эквивалентных материалах на стенде физического моделирования, установленном в лаборатории кафедры строительства, геомеханики и геотехники (Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина).

При моделировании базового варианта заложения буровых штреков расстояние от камеры принималось эквивалентным 5 м (рис. 3, б, в). Факт неустойчивости пород подтверждается экспериментами, проведенными на эквивалентных материалах, с высокой степенью достоверности. Промышленные исследования были реализованы с помощью инструментальных методов с использованием электронных приборов (тахометр, лазерная рулетка) по определению фактических размеров очистных камер (рис. 3, г).

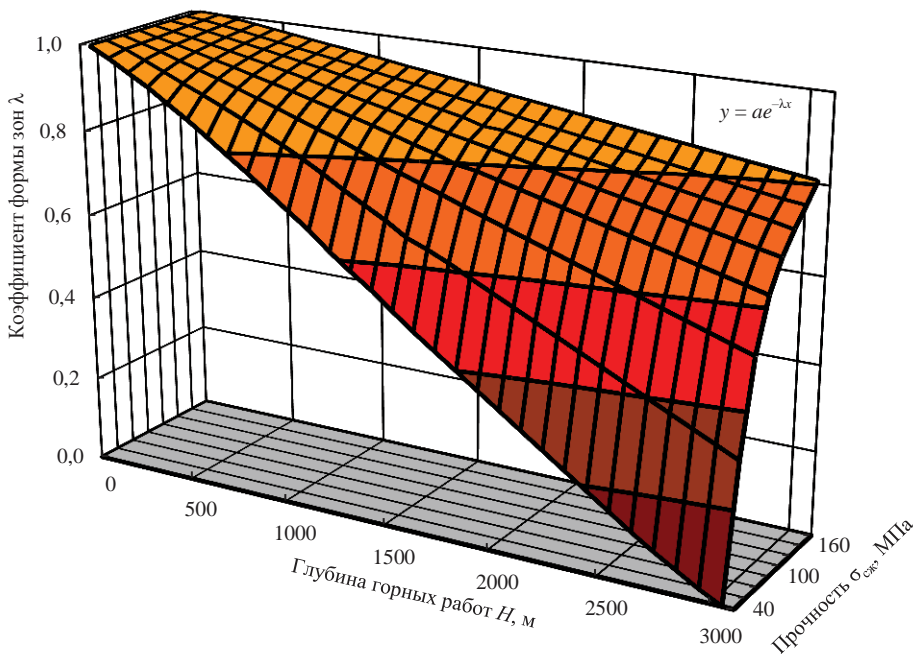


Рис. 2. Значения  $\lambda$  для различной прочности пород  
Fig. 2. The values of  $\lambda$  for various rock strength

Полученные результаты исследований энергетического состояния горных пород в окрестности очистных камер дали возможность разработать методику по выбору рациональных мест заложения буровых выработок или выбора их рационального крепления.

Принцип уравнивания учитывает баланс между факторами энергии массива, с одной стороны, и размерами и формой выработок, с другой, и позволяет находить между ними баланс и практически не использовать энергию для крепления и поддержания выработок (0–10 %). Принципы содействия и устранения близки по уровню используемой энергии массива (10–35 %). Разница в том, что принцип содействия применяют для очистных выработок при производстве добычных работ, а принцип устранения – при сохранении устойчивости подготовительных выработок. Самым эффективным методологическим принципом является принцип перенесения, который позволяет использовать до 86 % энергии массива посредством саморегулируемого анкерного крепления, которое нейтра-

лизует конвергенцию массива за счет энергии дивергенции. Экономическая эффективность предлагаемого подхода составляет 1,5 грн/т, что при производственной мощности шахты в 1,5 млн т/год составит 2,25 млн грн. Для удобства сравнения показатели сгруппированы по виду выполняемых горных работ – подготовительные и очистные [17]. Удельная эффективность подготовительных работ описывается параболо-гиперболической зависимостью от используемой энергии массива (рис. 4).

Полученные результаты позволили обосновать новые технологии вскрытия, подготовки и разработки рудных месторождений на Украине и за рубежом, которые позволяют использовать до 86 % энергии горного давления с экономией ресурсов до 37 % [18].

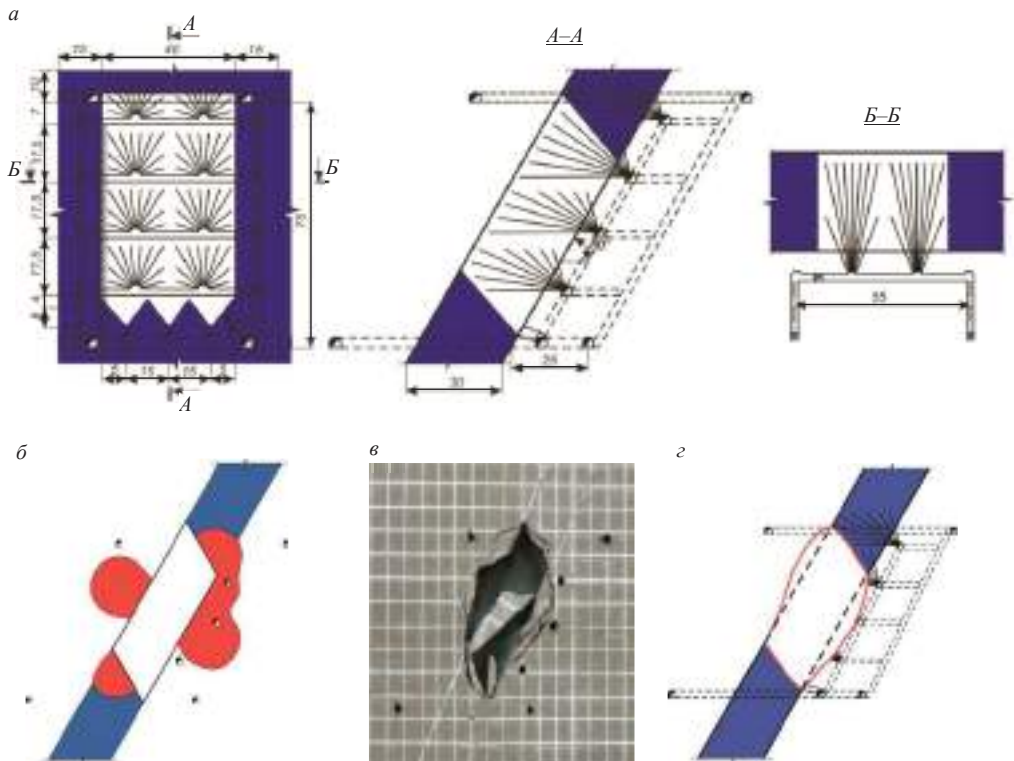


Рис. 3. Этажно-камерная система разработки с отбойкой руды из подэтажных буровых штреков, пройденных по породе – *а*; результаты теоретических – *б*, лабораторных – *в* и промышленных – *г* исследований предлагаемого способа нарезки очистных блоков на шахтах Кривбасса  
Fig. 3. Horizon-chamber mining with ore breaking from sublevel drilling rock galleries – *a*; the results of theoretical – *b*, laboratory – *c*, and industrial – *d* research of the suggested method of cutting stopping blocks at the mines of Kryvbas

**Перспективы развития исследований.** Пределом развития волновых процессов вокруг горных выработок является установление энергетического равновесия в предохранительной капсуле и приравнение ее прочности к ненарушенному массиву. Развитие геоэнергетических методологических основ оптимизации технологии горных работ должно привести к созданию соответствующей подсистемы автоматизации проектирования и планирования горных работ, повышению экологической безопасности окружающей среды и улучшению показателей здоровья населения, проживающего в горнодобывающем и перерабатывающих регионах.

**Выводы.** Установлен классификационный признак «состояние исследуемого массива», позволяющий разделить научные теории о горном давлении на подзем-

ные выработки на три основных класса: сил, деформаций и состояний массива. Теории сил содержат группы гипотез состояния свода, балок и плит. Теории деформаций содержат группы гипотез разрушения, релаксации, ползучести нарушенного массива. Третий класс – состояние массива согласно термодинамической и энергетической теориям зонального капсулирования подземных выработок.

**Показано**, что существующие теории не позволяют установить размеры, форму, количество зон и образуемых в них областей деформаций и, главное, открыть физическую сущность явления, которое приводит к зональному структурированию массива вокруг выработок. Результатом этих исследований стало признание данного феноменального явления одной из сложнейших проблем горной науки, не поддающихся решению на базе современных представлений физики. С использованием синергетического методологического поиска раскрыта физическая сущность такого исследуемого феномена, как зональное капсулирование выработки системой кольцевых энергетических зон, и описаны физические процессы, протекающие в предохранительной капсуле выработки.

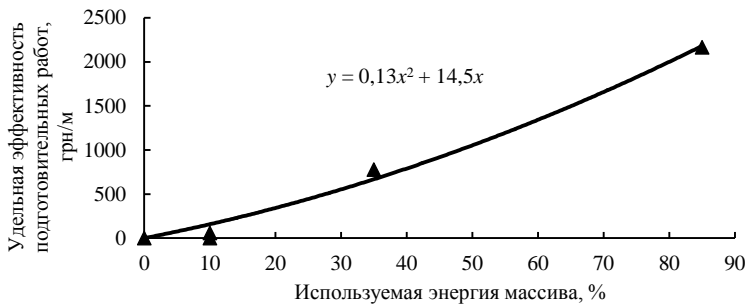


Рис. 4. Изменение удельной себестоимости подготовительных работ (в ценах 2013 г.) с увеличением энергии массива  
Fig. 4. Regularity of preparatory operations unit cost (prices for 2013)

**Разработаны** технологические подходы к проектированию трасс нарезных и подготовительных выработок и геоэнергетические виды крепления в статических условиях зонального капсулирования на базе предложенных методологических принципов управления энергией предохранительной капсулы: противодействие, уравнивание, содействие, устранение и перенесение. Установлено, что относительное количество перенаправленной энергии горного давления на поддержание горных выработок описывается параболо-гиперболической зависимостью, на базе чего разработаны геоэнергетические технологии подземной разработки рудных месторождений.

**Обоснованы** технологические параметры проведения буровзрывных и очистных работ в условиях динамического деформирования массива в границах энергетических зон предохранительных капсул путем разработки устойчивой формы выработок подсечки и отрезки для шахт ЧАО «ЗЖРК». Для конструктивных элементов блоков на шахтах ПАО «КЖРК» предложена эллипсоидная форма, которая исключает самообрушение руды, пород и закладки в очистное пространство с нулевым балансом между использованием и затратами энергии по принципу уравнивания. Предложено изменение направлений бурения эксплуатационных скважин для шахт ЧАО «ЗЖРК», а также рациональные расстояния между скважинами для шахт ГП «ВостГОК».

**Оценена** экономическая эффективность разработанных геоэнергетических технологий и реализовано промышленное внедрение в технические и организационные проекты разработки отечественных и зарубежных рудных месторожде-



ний путем разработки методики и создания программного продукта, выполнения расчетов и их анализа. Определена экономическая эффективность технологических решений по усовершенствованию подготовительных, нарезных, буровзрывных и очистных работ для рудных шахт Украины по удельным показателям эффективности горных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ляшенко В. И., Голик В. И., Колоколов О. В. Создание и внедрение природо- и ресурсосберегающих технологий подземной разработки месторождений сложной структуры // Известия вузов. Горный журнал. 1994. № 4. С. 31–37.
2. Хоменко О. Е., Ляшенко В. И. Геоэнергетические основы подземной разработки рудных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 8. С. 10–18.
3. Khomenko O., Kononenko M. Phenomenon of underground working encapsulation: identification, modeling & appliance // Collection of Research Papers of NMU. 2017. No. 52. P. 166–177.
4. Спелдинг Дж. Управление горным давлением. Теория и практика // Горное давление. М.: Изд-во лит. по горному делу, 1961. С. 242–274.
5. Феннер Р. Исследования горного давления // Горное давление. М.: Изд-во лит. по горному делу, 1961. С. 5–68.
6. Лабасс А. Давление горных пород в угольных шахтах // Горное давление. М.: Изд-во лит. по горному делу, 1961. С. 59–164.
7. Руппнейт К. В., Либерман Ю. М. Введение в механику горных пород. М.: Госгортехиздат, 1960. 356 с.
8. Либерман Ю. М. Давление на крепь капитальных выработок. М.: Наука, 1969. 118 с.
9. Авершин С. Г. Горные удары. М.: Углетехиздат, 1955. 235 с.
10. Kvapil R. Zur Theorie der Gtsteinszenstörung, Intern. Gebirgsdrucktagung, Zeipzig, Akademieverlag, Berlin, 1958.
11. Hast N. The measuriment of rock pressure in mines. Sveriges Geologiska Undersökning. Ser. C. 1958. No. 560. Arsbock 52. No. 3. P. 183.
12. Khomenko O. Ye. Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2012. No. 4. P. 44–54.
13. Лавриненко В. Ф. Преобразование энергии и формирование полей напряжений в массиве вокруг выработки // Известия вузов. Горный журнал. 1986. № 4. С. 5–11.
14. Хоменко О. Е., Ляшенко В. И. Развитие методологии геоэнергетического мониторинга при подземной разработке рудных месторождений // Маркшейдерия и недропользование. 2017. № 5. С. 33–40.
15. Khomenko O. Ye. Geoenergetics of underground mining of ore deposits: monograph. D.: NMU, 2016. 242 p.
16. Хоменко О. Е., Ляшенко В. И. Повышение безопасности добычи руд на основе использования геоэнергии // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 7. С. 18–24.
17. Khomenko O. Ye., Sudakov A. K., Malanchuk Z. R., Malanchuk Ye. Z. Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. No. 2. P. 35–43.
18. Khomenko O., Kononenko M., Astafiev D. Effectiveness of Geo-Energy Usage during Underground Mining of Deposits // Advanced Engineering Forum. 2017. Vol. 22. P. 100–106.

Поступила в редакцию 6 марта 2018 года

**Для цитирования:** Хоменко О. Е., Ляшенко В. И. Ресурсосберегающие технологии добычи руд на больших глубинах // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 23–33.

#### Сведения об авторах:

**Хоменко Олег Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального технического университета «Днепропетровская политехника». E-mail: rudana.in.ua@gmail.com

**Ляшенко Василий Иванович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела ГП «Украинский научно-исследовательский и проектно-исследовательский институт промышленной технологии». E-mail: vilyashenko2017@gmail.com

#### RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES FOR ORE EXTRACTION AT GREAT DEPTHS

**Khomenko O. E.<sup>1</sup>, Liashenko V. I.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> National TU Dnipro Polytechnic, Dnepr, Ukraine.

<sup>2</sup> State Enterprise “Ukrainian Research and Design Institute for Industrial Technology”, Zhovti Vody, Ukraine.

**Introduction.** Underground mining of ore deposits is characterized by deterioration of mining and geological and mining conditions, increased requirements for environmental protection and subsurface resources protection, as well as human life safety in the zone of mining facilities influence.

**Research aims** at the creation and implementation of resource-saving ore mining technologies at great depths on the basis of the analysis results of the rock pressure energy manifestation around underground excavations by revealing the physical essence of their zonal encapsulation phenomenon.

**Methodology.** An advanced method of mine, laboratory and experimental studies, mathematical and physical modeling, as well as theoretical analysis and generalization of research results using standard and new techniques has been applied.

**Novelty.** The existent classification of methods for studying the stress-strain state of rocks using the "method of representing the array" function has been improved to its elements: functional (industrial), physical (laboratory), and analytical (theoretical). It has been established that the relative amount of redirected energy of the rock pressure aimed to maintain the mine workings is described by a parabolic-hyperbolic dependence, on the basis of which geoeconomic technologies for ore deposits underground mining have been developed.

**Result.** Technological approaches have been developed to the design of face and development headings runways, and geoeconomic types of fixing in static conditions of zonal encapsulation on the basis of the proposed methodological principles of protective capsule energy management: counteraction, counterbalancing, assistance, elimination, and transfer.

**Practical significance** consists in technological parameters of drilling and blasting operations and stoping in conditions of dynamic deformation of a massif within safety capsules energy zones by developing a stable form of undercutting and cuttings for PJSC ZZHRK mines. A change in production wells drilling directions for PJSC ZZHRK mines has been suggested, as well as rational distances between the wells for the mines of the State Enterprise VostGOK. Economic efficiency of technological solutions over the improvement of preparatory, rifling, drilling and blasting, and cleaning works for Ukrainian ore mines has been determined according to specific indicators of mining efficiency.

**Key words:** rock strength; rock pressure; classification of theories; production capsule; resource-saving technologies.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-23-33

#### REFERENCES

- Liashenko V. I., Golik V. I., Kolokolov O. V. [Development and introduction of nature and resource saving technologies of complex structured deposits underground exploitation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 1994, no. 4, pp. 31–37. (In Russ.)
- Khomenko O. E., Liashenko V. I. [Geoeconomic fundamentals of ore deposits underground mining]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2017, no. 8, pp. 10–18. (In Russ.)
- Khomenko O., Kononenko M. Phenomenon of underground working encapsulation: identification, modeling and appliance. *Collection of Research Papers of NMU*, 2017, no. 52, pp. 166–177.
- Spalding J. [Rock pressure management. Theory and Practice]. Rock Pressure. Moscow, Izd-vo lit. po gornomu delu Publ., 1961, pp. 242–274. (In Russ.)
- Fenner R. [Rock pressure research]. Rock Pressure. Moscow, Izd-vo lit. po gornomu delu Publ., 1961, pp. 5–68. (In Russ.)
- Labass A. [Rock pressure in coal mines]. Rock Pressure. Moscow, Izd-vo lit. po gornomu delu Publ., 1961, pp. 59–164. (In Russ.)
- Ruppeneit K. V., Liberman Iu. M. [Introduction to rock mechanics]. Moscow, Gosgortekhnizdat Publ., 356 p.
- Liberman Iu. M. [Pressure on the supports of permanent mine workings]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 118 p.
- Avershin S. G. [Rock bumps]. Moscow, Ugletekhizdat Publ., 1955. 235 c.
- Kvapil R. Zur Theorie der Gesteinsstörung, Intern. Gebirgsdrucktagung, Zeipzig, Akademieverlag, Berlin, 1958.
- Hast N. The measurement of rock pressure in mines. *Sveriges Geologiska Undersökning. Ser. C*, 1958, no. 560, Arsbok 52, no. 3, 183 p.
- Khomenko O. E. [Implementation of energy method in study of zonal disintegration of rocks]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2012, Issue 4, pp. 44–54.
- Lavrinenko V. F. [Energy conversion and the formation of stress fields in a massif around the mine working]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 1986, no. 4, pp. 5–11. (In Russ.)
- Khomenko O. E., Liashenko V. I. [The development of the methodology of geoeconomic monitoring during the underground development of ore deposits]. *Marksheideriia i nedropol'zovanie – Mine Surveying and Subsurface Use*, 2017, no. 5, pp. 33–40. (In Russ.)
- Khomenko O. E. [Geoeconomics of underground mining of ore deposits: monograph]. Donetsk, NMU Publ., 2016. 242 p.
- Khomenko O. E., Liashenko V. I. [Increase in safety of ores extraction on the basis of geoeconomic use]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti – Occupational Safety in Industry*, 2017, no. 7, pp. 18–24. (In Russ.)

17. Khomenko O. E. [Principles of rock pressure energy usage during underground mining of deposits]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2017, no. 2, pp. 35–43.
18. Khomenko O., Kononenko M., Astafiev D. *Effectiveness of Geo-Energy Usage during Underground Mining of Deposits. Advanced Engineering Forum*, 2017, vol. 22, pp. 100–106.

**Information about authors:**

**Khomenko Oleg Evgen'evich** – Doctor of Engineering Science, professor of the Department of Underground Mining, National TU Dnipro Polytechnic. E-mail: rudana.in.ua@gmail.com

**Liashenko Vasilii Ivanovich** – Candidate of Engineering Science, senior researcher, Head of the Scientific Research Department of State Enterprise “Ukrainian Research and Design Institute for Industrial Technology”. E-mail: vilyashenko2017@gmail.com

---

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БУРОВЗРЫВНОГО КОМПЛЕКСА НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ

КОТЯШЕВ А. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58)

***Актуальность.** Дезинтеграция локальных массивов буровзрывным способом на отечественных и зарубежных горнодобывающих предприятиях для подготовки минерального сырья к выемке и дальнейшей доставке на дробильно-обоганительные и отвальные комплексы на земной поверхности с наименьшими затратами остается актуальной до настоящего времени.*

***Цель работы.** Статистическая оценка влияния горнотехнических и горно-геологических факторов на показатели эксплуатации буровзрывного комплекса.*

***Методы.** При проведении исследований использованы методы системного и корреляционно-регрессионного анализа, моделирования и натуральных наблюдений.*

***Результаты исследований.** Выявлены тенденции и определены темпы изменения горнотехнических и горно-геологических факторов, характеризующих условия разработки месторождений, а именно: глубины карьеров; крепости взорванных и отгруженных горных пород; выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе. Установлены закономерности и дана оценка изменения показателей: удельного расхода ВВ; выхода горной массы с 1 м взорванных скважин; удельных затрат по переделам (бурения скважин, взрывного разрушения локальных массивов и в целом по подготовке к выемке 1 м<sup>3</sup> горной массы). Предложены корреляционно-регрессионные модели.*

***Использование результатов исследований.** Полученную информацию целесообразно использовать при проектировании и подготовке технологических взрывов на горных предприятиях при отработке глубоких горизонтов, прогнозировании условий и показателей буровзрывного комплекса на ближайшие годы эксплуатации.*

***Выводы.** С использованием установленных закономерностей, предложенных моделей и мер дальнейшего совершенствования организации и технологии разрушения локальных массивов на карьерах возможно на определенный период времени обеспечить стабилизацию и снизить темпы ухудшения технико-экономических показателей подготовки горной массы к выемке буровзрывным способом.*

***Ключевые слова:** горнодобывающие предприятия; карьер; буровзрывной комплекс; подготовка горной массы к выемке; горнотехнические факторы; горно-геологические факторы.*

**Цель исследований.** Буровзрывной способ подготовки горной массы к выемке на открытых горных разработках остается доминирующим и наиболее экономичным. Целью выполненной работы является статистическая оценка влияния горнотехнических и горно-геологических факторов на показатели эксплуатации буровзрывного комплекса.

**Методология исследований.** При проведении исследований использованы: метод системного анализа факторов, характеризующих условия эксплуатации буровзрывного комплекса, технологических и технико-экономических показателей, метод корреляционно-регрессионного анализа, моделирование и натурные наблюдения. Исследования [1] свидетельствуют, что с ростом глубины открытых

разработок изменяется соотношение вмещающих пород в сторону увеличения крепости. При разработке железорудных месторождений с понижением рабочей зоны на каждые 100 м крепость пород увеличивается в среднем на 0,4–0,6 ед. по шкале М. М. Протодяконова. Наряду с этим наблюдается изменение структуры массива, а именно: увеличение доли некондиционных фракций во взорванной горной массе и уменьшение выхода ее с 1 м скважин. С увеличением глубины карьеров на каждые 50 м естественная блочность пород возрастает по разным генетическим типам месторождений в пределах 0,04–0,80 м, в среднем – на 0,26 м. Как следствие, наблюдается снижение производительности и эффективности буровзрывного и погрузочно-транспортных комплексов, что предопределяет увеличение удельного расхода взрывчатых материалов при подготовке горной массы к выемке. Установлено, что понижение горных работ на каждые 100 м приводит к удорожанию подготовки горной массы к выемке на 10–12 %.

**Таблица 1. Темпы изменения объемов выемки горной массы (1990–2015)**  
**Table 1. Rate of changes in the rock mass excavation volume (1990–2015)**

Показатель	1995	2000	2005	2010	2015	Среднее за период
Индекс	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>ср</sub>
Объединенный карьер	0,26	1,26	1,15	0,61	0,74	0,80

J – отношение глубин карьера.

Одним из основных требований к взорванной горной массе является минимальный выход негабаритных фракций [2, 3]. Решению этого вопроса на горных предприятиях уделяется большое внимание, проводится значительное количество исследований. Наиболее глубоко эта тема рассмотрена в трудах Н. В. Мельникова, К. Н. Трубецкого, Б. Н. Кутузова, В. Н. Мосинца, А. Н. Ханукаева, С. Д. Викторова и ряда зарубежных ученых [7–10]. Установлено, что при равномерном распределении взрывчатых веществ (ВВ) в массиве выход негабарита

**Таблица 2. Темпы изменения глубины карьеров (1985–2015)**  
**Table 2. Rate of open pits depth change (1985–2015)**

Показатель	1990	1995	2000	2005	2010	2015	Среднее за период
Индекс	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>6</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>ср</sub>
Объединенный карьер	1,14	1,02	1,01	1,02	1,08	1,04	1,051
В том числе:							
Центральный	1,08	1,01	1,01	1,00	1,09	1,07	1,043
Южный	1,22	1,04	1,01	1,04	1,08	1,00	1,063

связан с удельным расходом гиперболической зависимостью, которая в пределах применяемых практически удельных расходов без значительной погрешности может быть аппроксимирована прямой линией. Месторождения по добыче хризотил-асбеста, в отличие от железорудных, характеризуются бóльшим разнообразием по структуре, блочности, залеганию пород, трещиноватости, фракционному составу и ряду других специфических особенностей. Вмещающие породы Баженовского месторождения хризотил-асбеста представлены перидотитами, диоритами, серпентинитами, габбро, пироксенитами, тальк-карбонатными и другими видами пород.

Анализ структуры и объемов выемки рудоносных и пустых пород на карьерах ОАО «Ураласбест» за последние двадцать лет разработки месторождения свидетельствует, что взрывные работы по особо крепким рудоносным породам

IV и V категорий взрываемости, согласно местной классификации пород месторождения, составляют 62,8 % от общего объема добычи, а по крепким и особо крепким скальным породам IV и V категорий – соответственно 57 % от общего объема. При этом 85 % рудоносных пород, а именно 54 % перидотитов ОЖ V категории и 31 % серпентинитов МС III категории являются преобладающими [4, 5]. В табл. 1 приведены темпы изменения объемов выемки горной массы на карьерах предприятия в динамике разработки месторождения.

В табл. 2 приведены темпы изменения глубины карьеров  $H_k$ .

**Таблица 3. Корреляционно-регрессионные взаимосвязи факторов**  
**Table 3. Correlation-regression interactions of factors**

Фактор	Модель	$K_d$	$K_k$	Период, годы Глубина, м
Глубина карьера, м:				
Центральный	$H_k = 2,14t - 3965$	0,85	0,92	1985–2016
Южный	$H_k = 2,96t - 5640$	0,88	0,94	
Крепость пород, ед.	$f_{cp} = 0,002H_k + 9,1$	0,99	0,99	$200 \leq H_k \leq 350$
Выход негабарита, %	$N = 0,0101t - 19,71$	0,58	0,76	2005–2016

$K_d$  – коэффициент детерминации;  $K_k$  – коэффициент корреляции;  $t$  – год.

Анализ данных взаимосвязи средней крепости извлеченных из карьеров горных пород и глубины разработки свидетельствует, что каждые 100 м понижения рабочей зоны карьера крепость увеличивается на 0,2 ед. по шкале М. М. Протодьяконова, что на 13 % меньше, чем на железорудных месторождениях. В табл. 3 приведены корреляционно-регрессионные модели изменения глубины карьеров, средней крепости извлеченных горных пород и выхода негабарита во взорванной горной массе.

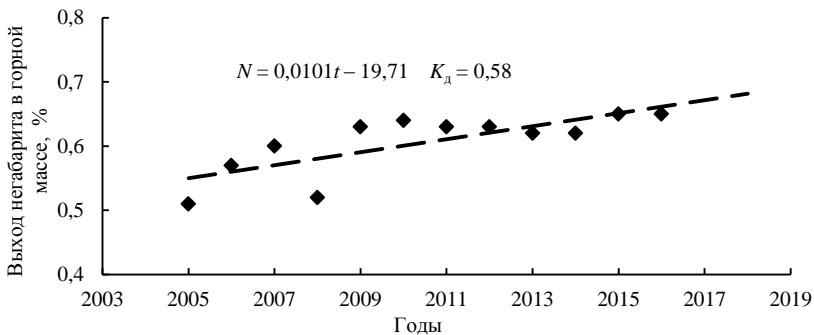


Рис. 1. Тренд изменения выхода негабаритных фракций  
Fig. 1. The trend of the oversized fractions output variation

На рис. 1 показано варьирование выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе в динамике разработки месторождения.

В табл. 4 установлены темпы изменения выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе в динамике разработки месторождения.

Анализ статистических показателей свидетельствует о том, что начиная с 2009 г. доля выхода негабаритных фракций во взорванной горной массе, относительно предыдущего периода времени, стабильна (варьирует в пределах от 0,62 до 0,65 % за счет совершенствования технологии разрушения локальных массивов, параметров и конструкции скважинных зарядов).

**В процессе исследований установлены** тенденции снижения объемов выемки скальных пустых и рудоносных пород, изменения структуры и крепости извлеченных пород и руд с ростом глубины карьеров, что требует периодического научного уточнения основных параметров буровзрывных работ для целенаправленного и эффективного разрушения локальных массивов и получения необходимого гранулометрического состава во взорванной горной массе [4–6].

Таблица 4. Темпы изменения выхода негабарита (1995–2015)

Table 4. Oversize output rate of change (1995–2015)

Годы	2000	2005	2010	2015	Среднее за период
Индекс	J <sub>2</sub>	J <sub>3</sub>	J <sub>4</sub>	J <sub>5</sub>	J <sub>ср</sub>
Объединенный карьер	1,04	1,06	1,25	1,02	1,09

На рис. 2 и рис. 3 приведены закономерности изменения показателей эксплуатации буровзрывного комплекса ОАО «Ураласбест» с ростом глубины разработки месторождения, а именно удельного расхода взрывчатых веществ и выхода горной массы с 1 м взорванных скважин, и установлены корреляционно-регрессионные взаимосвязи горнотехнических и технико-экономических показателей.

Анализ показателей и закономерностей свидетельствует, что с ростом глубины разработки месторождения с 200 до 350 м удельный расход взрывчатых веществ увеличился в 2,23 раза, а выход горной массы с 1 м взорванных скважин снизился в 1,43 раза.

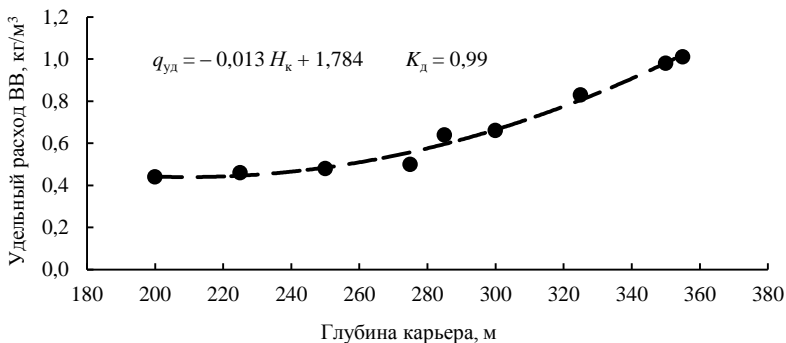


Рис. 2. Изменение удельного расхода ВВ с ростом глубины  
Fig. 2. Change in the specific consumption of explosives with increasing depth

На рис. 4 представлены закономерности изменения удельных затрат по операциям – бурению скважин, взрывному разрушению локальных массивов и в целом по подготовке к выемке 1 м<sup>3</sup> взорванной горной массы [11, 12].

Из анализа статистических показателей и закономерностей следует, что затраты на подготовку горной массы к выемке в целом увеличиваются, но при внедрении комплекса эффективных мер за последние два года затраты снизились на 23 %. При этом следует отметить, что затраты на бурение скважин снизились в 1,65 раза в основном за счет совершенствования организации работ и внедрения более прогрессивной системы поощрения работников бурового участка. Затраты на взрывные работы снизились в 1,12 раза за счет разрушения локальных массивов рассредоточенными скважинными зарядами, а также применения полипропиленовых рукавов для зарядов эмульсионных ВВ диаметром меньшим, чем диаметр пробуренных скважин, и других мероприятий, позволяющих обеспечить

снижение удельного расхода взрывчатых материалов. С учетом этого возможно достижение стабилизации себестоимости подготовки горной массы к выемке на определенный период времени.

### Результаты выполненных исследований:

– выявлены тенденции и определены темпы изменения горнотехнических и горно-геологических факторов, характеризующих условия разработки месторождений, а именно: глубины карьеров; крепости взорванных и отгруженных горных пород; выхода негабаритных фракций при разрушении локальных массивов;

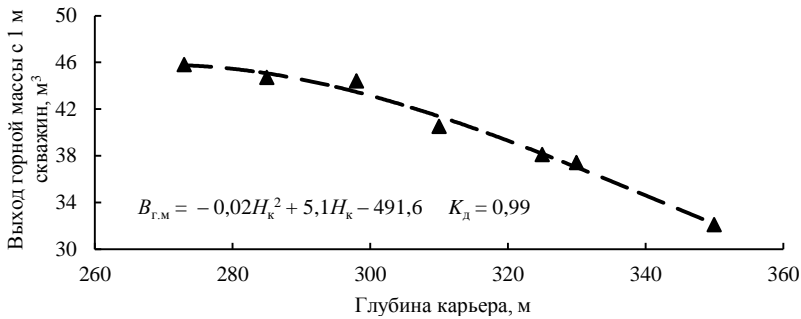


Рис. 3. Изменение выхода горной массы с 1 м скважин с ростом глубины  
Fig. 3. Change in rock output per 1 m of wells

– установлены закономерности и дана статистическая оценка изменения удельного расхода ВВ, выхода горной массы с 1 м взорванных скважин, удельных затрат по переделам: бурения скважин, взрывного разрушения локальных массивов и в целом по подготовке к выемке 1 м³ горной массы;

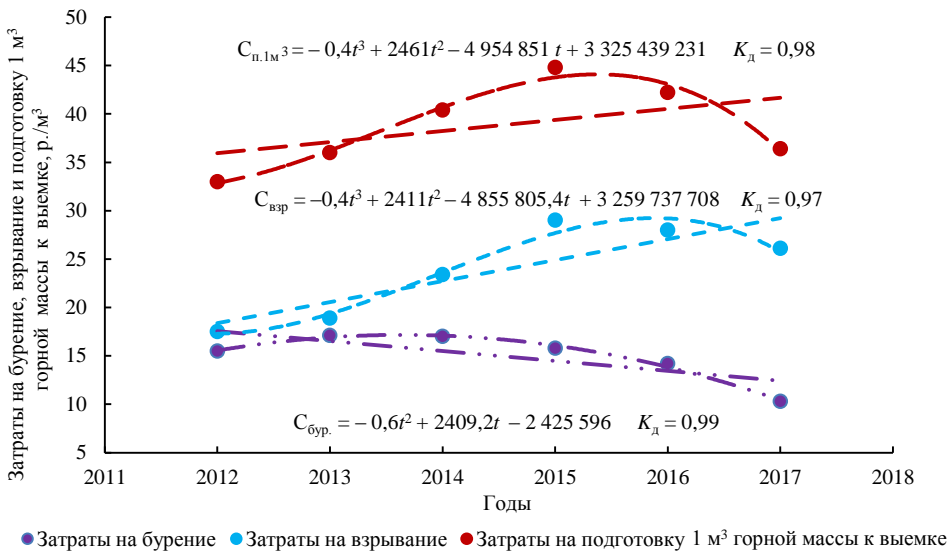


Рис. 4. Изменение удельных затрат на подготовку горной массы к выемке  
Fig. 4. Change in the unit costs for preparation of rock mass for the excavation

– предложены корреляционно-регрессионные модели, позволяющие с определенной степенью достоверности предсказать изменение этих факторов и показателей на ближайшие 3–5 лет при отработке глубоких горизонтов карьеров.



**Область применения результатов.** Результаты исследований целесообразно использовать при проектировании и подготовке технологических взрывов на глубоких карьерах и прогнозировании условий и показателей эксплуатации буровзрывного комплекса на ближайшую перспективу.

**Выводы.** С использованием установленных закономерностей, предложенных моделей и мер дальнейшего совершенствования организации и технологии разрушения локальных массивов на карьерах возможно, на определенный период времени, обеспечить стабилизацию и снизить темпы ухудшения технико-экономических показателей при подготовке горной массы к выемке буровзрывным способом в динамике разработки месторождений по добыче минерального сырья.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев М. В. Влияние возрастающей глубины карьеров на эффективность горного производства // Горный журнал. 1983. № 2. С. 29–33.
2. Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом. М.: МГИ, 1992. 516 с.
3. Мосинев В. Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с.
4. Котяшев А. А., Русских А. П. Динамика условий и показателей эксплуатации взрывного комплекса // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XIII Междунар. науч.-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека. Екатеринбург: УГГУ, 2015. С. 412–417.
5. Котяшев А. А., Корнилов М. В., Русских А. П. Изучение и оценка структурных изменений при дезинтеграции скальных массивов в динамике развития карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 6. С. 17–24.
6. Котяшев А. А., Глебов А. В. Тенденции изменения технологических показателей буровзрывного комплекса железорудных карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 75–83.
7. Hino Kumaо. Theory and practice of blasting. Japan: Nippon Kayaku Ltd., Asa, Yamaguchi-Ken, 1959.
8. Livingston C. W. Fundamental concepts of rock failure. Colorado School of Mines, 51, 3 (July 1956). P. 1–14.
9. Grant C. H. Design of open pits. Proceedings Seventh Symposium Rock Mechanics. Penn State University (June 1965). P. 48–67.
10. Kochanowsky B. J. Theory and practice of inclined drilling surface mining. Colorado School of Mines, 56, 1 (January 1961). 308 p.
11. Техничко-экономические показатели горных предприятий за 1990–2015 гг. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. 254 с.
12. Дружинин Н. К. Математическая статистика в экономике. М., 1971. 324 с.

Поступила в редакцию 30 мая 2018 года

**Для цитирования:** Котяшев А. А. Закономерности изменения условий и показателей эксплуатации буровзрывного комплекса на открытых горных разработках // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 34–40.

#### Сведения об авторах:

**Котяшев Альберт Александрович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории разрушения горных пород Института горного дела УрО РАН. E-mail: alcotaa@bk.ru

#### REGULARITIES OF CHANGES IN THE CONDITIONS AND PERFORMANCE OF A COMPLEX OF DRILLING AND BLASTING IN OPEN-PIT MINING

**Kotiashev A. A.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

**Research relevance.** The disintegration of local massifs by drilling and blasting method at the native and foreign mining enterprises for the preparation of raw materials for the extraction and further delivery to the crushing and processing and dump complexes on the earth's surface with the least cost, remains relevant to the present time.

**Research aim** is to statistically assess the impact of mining-engineering and mining-geological factors on the performance of a drilling and blasting complex.

**Methodology.** The methods of system and correlation-regression analysis, modeling and in-situ observations were used in the research.

**Research results.** The trends have been revealed and the rate of change have been determined in mining-engineering and mining-geological factors characterizing the conditions of deposits exploitation, namely:

the depth of open pits, blasted and loaded rocks hardness, the output of oversized fractions in the blasted rock mass. The indicators variation regularities have been determined and estimated: specific consumption of explosives, the yield of rock mass per 1 running meter of blasted wells, unit costs of the stages (wells drilling, local massifs explosive destruction, and preparation for the excavation of 1 m<sup>3</sup> of rock mass in general). The correlation - regression models have been proposed.

**Results application.** It is advisable to use the results of the research in the design and preparation of technological explosions at mining enterprises when mining deep horizons, and in the prediction of the drilling and blasting complex conditions and indicators for the coming years of operation.

**Conclusions.** With the use of the established regularities, proposed models and measures for further improvement of the local massifs destruction organization and technology in open pits, it is possible to ensure stabilization for a certain period of time and reduce the rate of deterioration of technical and economic indicators of rock mass preparation for the excavation by drilling and blasting method.

**Key words:** open pit; mining enterprise; drilling and blasting complex; rock mass preparation for excavation; mining-engineering factors; mining-geological factors.

The research has been carried out under the government contract 007-00293-18-00. Theme no. 0405-2018-0001. Project no. 18-5-5-10.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-34-40

#### REFERENCES

1. Vasil'ev M. V. [The influence of the increasing depth of open pits on the efficiency of mining]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 1983, no. 2, pp. 29–33. (In Russ.)
2. Kutuzov B. N. [Destruction of rocks with an explosion]. Moscow, MMI Publ., 1992. 516 p. (In Russ.)
3. Mosinets V. N. [Crushing and seismic action of an explosion in rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 271 p. (In Russ.)
4. Kotiashev A. A., Russkikh A. P. [The dynamics of a blasting complex operation conditions and indicators]. [Proc. 13th Internat. Sci.-Techn. Conf. Readings in memory of V. R. Kubachek "Technological Equipment for Mining and Oil and Gas Industry"]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2015, pp. 412–417. (In Russ.)
5. Kotiashev A. A., Kornilkov M. V., Russkikh A. P. [Study and evaluation of structural changes in blasting disintegration of rock massif in the development dynamics of asbestos stone-pits]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2017, no. 6, pp. 17–24. (In Russ.)
6. Kotiashev A. A., Glebov A. V. [Changing trends in technological parameters of drilling and blasting complex of iron ore open pits]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2015, no. 2, pp. 75–83. (In Russ.)
7. Hino Kumao. Theory and practice of blasting. Japan, Nippon Kayaku Ltd., Asa, Yamaguchi-Ken, 1959.
8. Livingston C. W. Fundamental concepts of rock failure. *Colorado School of Mines*, 51, 3 (July 1956), pp. 1–14.
9. Grant C. H. Design of open pits. Proceedings Seventh Symposium Rock Mechanics. Penn State University (June 1965), pp. 48–67.
10. Kochanowsky B. J. Theory and practice of inclined drilling surface mining. *Colorado School of Mines*, 56, 1 (January 1961). 308 p.
11. [Technical-economic indicators of mining enterprises in 1990–2015]. Ekaterinburg, IM UB RAS Publ., 2017. 254 p. (In Russ.)
12. Druzhinin N. K. [Mathematical statistics in economics]. Moscow, 1971. 324 p.

#### Information about authors:

**Kotiashev Al'bert Aleksandrovich** – Candidate of Engineering Science, senior researcher of the Laboratory of Rock Destruction, Institute of Mining UB RAS. E-mail: alcotaa@bk.ru

# ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА. АЭРОГАЗОДИНАМИКА

---

УДК 622.245.1

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-41-49

## О ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН В КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАБАЙКАЛЬЯ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ РЕГИОНОВ

**ЖЕЛЕЗНЯК И. И.<sup>1</sup>, СТЕТЮХА В. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН  
(Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16а)

<sup>2</sup> Забайкальский государственный университет  
(Россия, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30)

***Цель работы** – выработка методики и состава работ по проектированию скважин при освоении месторождений полезных ископаемых с учетом воздействия на их конструктивные элементы опасных криогенных процессов в сезонном и оттаивающем слоях дисперсных пород.*

***Актуальность исследований** связана с обеспечением эксплуатационной надежности, эффективности и безопасности работ расположенных в криолитозоне Забайкалья и сопредельных регионов вертикальных геотехнологических, водозаборных и других скважин в рабочем, аварийном или законсервированном состоянии.*

***Методика исследования** предусматривает анализ условий работы рабочей колонны из полимерного материала в скважинах различного назначения с учетом наиболее неблагоприятных климатических и геокриологических факторов, характерных, в частности, для северной части криолитозоны Забайкалья. Оценка влияния этих факторов на колонну из полимерного материала в скважине основывается на использовании законов термодинамики. Учитываются дополнительные нагрузки, создаваемые замерзанием воды в замкнутом заколонном пространстве, сопровождающиеся деформацией колонны при обжатии ее льдом. Оценка устойчивости обсадной трубы на действие касательных сил пучения, сил негативного трения и сейсмического воздействия предусматривает применение положительно зарекомендовавших себя расчетных методов, полученных в результате многолетних натурных и экспериментально-теоретических исследований в Забайкалье.*

***Результаты исследования** представлены в виде рекомендаций, дополняющих состав и содержание работ по проектированию вертикальных геотехнологических, водозаборных и других скважин при освоении месторождений полезных ископаемых в массивах многолетнемерзлых пород.*

***Ключевые слова:** многолетнемерзлые породы; скважина; колонна; обсадная труба; проектирование; прочность; устойчивость.*

**Введение.** Проблема устойчивости геотехнологических скважин при освоении месторождений полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) в условиях криолитозоны связана с перспективой освоения месторождений в урановорудных районах со значительными ресурсами урана и других полезных ископаемых [1, 2], в том числе золота и редких металлов, расположенных в криолитозоне Севера Забайкалья, в частности Чарского (Нечеро-Ничатского) и Сьюльбанского месторождений [3]. Геокриологические условия в подобных регионах [4] требуют решения проблемы распределения нагрузки на конструкции [5, 6]. Специалисты не исключают того, что в пределах юга криолитозоны Восточного Забайкалья, а также в Восточной Монголии и Северном Китае придется столкнуться с проблемой освоения месторождений методом СПВ

в массивах высокотемпературных многолетнемерзлых пород (ММП) островного залегания.

В ведомственных нормах технологического проектирования горнодобывающих предприятий методом подземного выщелачивания (*СТО СРО-П 60542948 00033-2015. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий методом подземного выщелачивания*), сформированных на основе накопленного многолетнего опыта в регионах за пределами криолитозоны, не содержится комплекс необходимых для проектирования детальных положений, учитывающих влияние ММП и опасных криогенных процессов на прочность и устойчивость геотехнологических (закачных, откачных, наблюдательных), водозаборных и других скважин в рабочем, аварийном или законсервированном состоянии. Кроме этого, в указанных нормах не содержатся требования экологического характера по учету геокриологических условий района добычи полезного ископаемого методом СПВ, базирующиеся на изучении криогенных процессов, явлений и физико-механических свойств многолетнемерзлых и сезонномерзлых горных пород.

**Исследование условий проектирования скважин.** В настоящее время единственным в России (и в мире) предприятием, добывающим уран методом скважинного подземного выщелачивания в сложных геокриологических условиях, является, как известно, рудник АО «Хиагда», расположенный в Забайкалье на 390 км северо-восточнее г. Улан-Удэ и на 220 км севернее Читы [7]. Рудник располагается в южном регионе криолитозоны, отличающемся сложными природными и геокриологическими условиями: резко континентальным климатом, отрицательной среднегодовой температурой воздуха, значительными амплитудами суточных и годовых температур, малым количеством летних и зимних атмосферных осадков, незначительной мощностью снежного покрова, широким распространением высокотемпературных (от 0 до  $-1,5$  °С) массивов горных пород сплошного и островного залегания сливающегося и несливающегося типа, их глубоким сезонным оттаиванием, а также наличием локальных участков с подземными льдами. Существенное влияние на условия залегания и температурно-влажностный режим ММП оказывают горно-котловинный характер рельефа, ориентация горных хребтов, крутизна и экспозиция склонов, определяющих распределение солнечной радиации и осадков [8].

В связи с этим возникает необходимость прогноза ряда возможных рисков конструктивного, технологического и связанного с ними экологического характера [9]. Опыт работы рудника «Хиагда» показал, что к ним относятся, например, проникновение метеорных (атмосферных) вод в заколонное пространство в зоне мерзлых пород, в результате замерзания которых происходит смятие, повреждение или разрушение полимерных труб, разрыв резьбовых соединений, что вызывает нарушение целостности колонн [7]. Специалисты считают, что предупреждение этих рисков может потребовать улучшения гидроизоляции заколонного пространства [10], чтобы исключить возможность попадания растворов в водоносные горизонты [11]. В связи с этим отмечается тенденция роста использования полимерных труб вместо металлических в качестве колонн и обсадных труб. Однако, как показывает опыт, их проектирование и эксплуатация в условиях криолитозоны Забайкалья требуют индивидуального подхода, учитывающего не только инженерно-геокриологическую обстановку, влияние криогенных процессов и явлений, но и высокую сейсмическую активность в этом регионе [12].

Одним из элементов такого подхода можно считать используемый на руднике «Хиагда» комплекс технологических мероприятий по переходу на новую конструкцию скважин, включающий герметизацию их устья вязкоупругим полимер-

ным материалом, замену обсадных труб ПНД (из полиэтилена низкого давления) трубами из ударопрочного и морозостойкого непластифицированного поливинилхлорида, замену заколонной цементации бентонитовыми пакерами. Практический интерес представляет подход к технологии ремонта скважин, в частности восстановление геометрических размеров обсадных труб, установка резиновых пластырей, тампонаж полимерными материалами на участках нарушения гидроизоляции резьбовых соединений и целостности колонны [7].

Вместе с тем обращает на себя внимание отсутствие в научных публикациях сведений о результатах экспериментально-теоретических исследований теплового и механического взаимодействия скважины с ММП. В связи с этим требует доказательства гипотеза [7] о том, что смятие, повреждение или разрушение полимерных труб, а также резьбовых соединений происходит за счет замерзания воды в заколонном пространстве в толще ММП с нулевыми годовыми амплитудами отрицательной температуры за счет некоего резкого перепада температур в ходе эксплуатации скважин. Фактически резкие перепады температуры в течение всего годового и сезонных климатических циклов проявляются исключительно в атмосфере, т. е. над поверхностью пород. В литосфере они затухают в пределах первых десятков сантиметров сезонноталого слоя (СТС). Ниже верхней границы годовых нулевых амплитуд (т. е. ниже 10–12 м) температура толщи ММП практически постоянна. Анализ причинно-следственных связей, вызывающих повреждения полиэтиленовых обсадных труб при замерзании воды в заколонном пространстве в пределах толщи ММП, смятия или разрушения их, разрыва резьбовых соединений, обосновывает необходимость организации систематических натурных инженерно-геокриологических исследований, апробации известных методов расчета, проектирования, а также разработки эффективных технических решений, повышающих надежность геотехнологических скважин.

**Методика.** Достоверное определение полей температуры в условиях распространения ММП в зонах размещения скважин обеспечивается решением задачи термодинамики по методике [13]. Применяемые в составе расчетной модели уравнения теплового баланса и баланса влаги учитывают особенности переноса тепла и влаги, связанные с наличием двух фронтов промерзания. В используемой математической модели предусмотрена корректировка с течением времени теплофизических характеристик пород.

Оценка напряженно-деформированного состояния трубы из полимерного материала базируется на использовании трехмерной модели, позволяющей с достаточной для инженерных расчетов точностью определить внутренние усилия в трубе методом конечных элементов с помощью программного комплекса «ЛИРА». Такой подход позволяет производить расчет трубы на прочность и устойчивость в условиях ее сжатия льдом в замкнутом пространстве.

Методика оценки устойчивости обсадной трубы на действие касательных сил пучения [14] включает определение глубины сезонного промерзания пород, их физико-механических свойств, нормативной касательной силы пучения, которая измеряется в результате специальных исследований, а в случае их отсутствия определяется расчетом. Устойчивость обсадной трубы оценивается из условия предельного равновесия.

Методика оценки сил негативного трения оттаивающего массива ММП [15] включает определение физико-механических свойств, коэффициентов оттаивания и сжимаемости, значений температуры пород в зоне их взаимодействия со скважиной по всей ее глубине.

Оценка сейсмической опасности площадки рудного поля реализуется способом сейсмического микрорайонирования с учетом изменчивости сейсмических свойств пород в конкретных геокриологических условиях.

**Результаты.** В связи с изложенным предлагается комплекс мероприятий по обеспечению надежности геотехнологических скважин при освоении месторождений полезных ископаемых методом СПВ в криолитозоне на стадии проектирования, который должен включать следующие работы:

1. Инженерно-геокриологические изыскания на территории рудного поля, включающие определение физико-механических свойств пород СТС и ММП согласно СП 47.13330.2016. *Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.* В районах с повышенной сейсмической активностью необходима разработка геокриологической карты, учитывающей сейсмическое микрорайонирование рудного поля [12], изучение и использование накопленного опыта в смежных отраслях [16].

2. Теплотехнический расчет по известным методикам, например [13], с целью определения температурного поля в заколонном пространстве и контактирующих с ним СТС и толще ММП.

Теплотехнический расчет должен производиться:

– на минимально и максимально допустимые значения температуры теплоносителя в колонне (проектные) при минимальных среднезимних значениях температуры пород СТС и температуры толщи ММП;

– для периодов монтажа, начала и окончания эксплуатации, аварийной остановки и ремонта скважины.

Результаты расчета обеспечивают оценку возможности замерзания воды в заколонном пространстве на основных стадиях эксплуатации скважины и возможность определения максимально безопасного срока ее аварийной или плановой остановки, а также уточнение характеристик температурного режима рудного поля для назначения в его пределах оптимального расстояния между геотехнологическими скважинами по температурному признаку.

3. Расчет колонны на прочность и устойчивость при обжатию льдом из заколонного пространства.

В качестве исходного условия принимается допущение, что замерзание воды вокруг колонны происходит в замкнутом пространстве, т. е. без возможности бокового расширения, что приводит к обжатию колонны за счет увеличения объема воды на 9 % при фазовом переходе воды в лед.

С учетом известных величин деформаций, вызываемых замерзанием воды в заколонном пространстве, определяется внешнее давление на трубу и кольцевые усилия, создаваемые в ее стенках. При этом деформации стенок скважины в мерзлых породах не учитываются.

Величина критического давления, способного привести к потере устойчивости конструкции, вычисляется по известным формулам [17]. Если сжимающее напряжение в стенках трубы меньше предела пропорциональности материала, критическое давление определяется по формуле

$$P_{кр} = \frac{Eh^3}{4(1-\nu^2)R^3},$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $h$  – толщина стенки трубы;  $R$  – радиус трубы;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Применение для расчетов метода конечных элементов [18] дает результат, удовлетворяющий требованиям точности инженерных расчетов. На основе расчетов авторами настоящей статьи выполнялась оценка зависимости несущей способности колонны от ее диаметра, толщины слоя льда в заколонном пространстве

и от характеристик материала. Определялось сочетание параметров, которые могут приводить к потере устойчивости колонны или к ее разрушению. В ходе исследований было установлено, что пластмассовые трубы диаметром от 90 до 160 мм теряют устойчивость при замерзании воды в затрубном пространстве при образовании прослоек льда толщиной 20 мм.

4. Расчет обсадной трубы на устойчивость и прочность, а также на действие касательных сил криогенного пучения при промерзании СТС (в случае отнесения слагающих дисперсных пород к категории пучинистых).

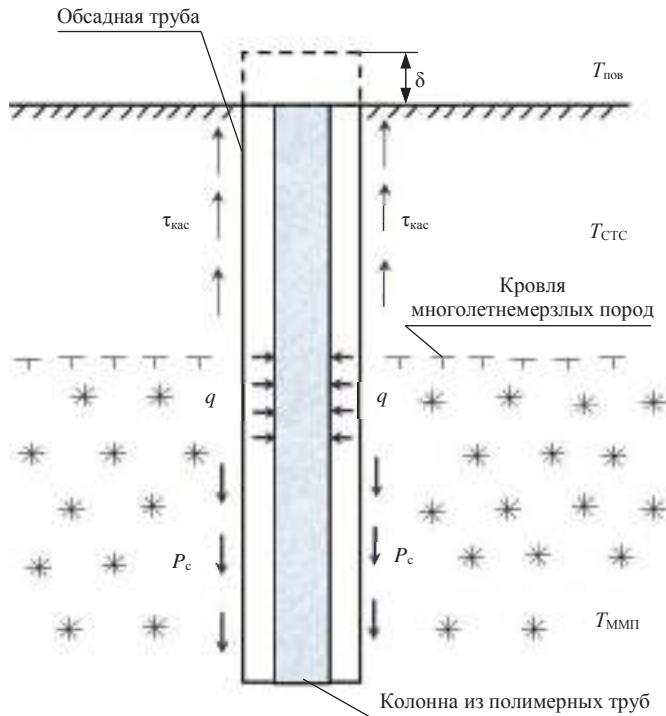


Рис. 1. Схема обсадной трубы с колонной:

$\tau_{\text{кас}}$  – касательная сила криогенного пучения;  $P_c$  – сила смерзания обсадной трубы с многолетнемерзлой породой;  $T_{\text{пов}}$  – температура на поверхности пород;  $T_{\text{СТС}}$  – температура сезоннооталого слоя;  $T_{\text{ММП}}$  – температура многолетнемерзлых пород;  $\delta$  – величина криогенного выпучивания обсадной трубы;  $q$  – нагрузка на колонну при обжатии льдом

Fig. 1. A scheme of a casing pipe with a string:

$\tau_{\text{кас}}$  – tangential forces of cryogenic heaving;  $P_c$  – adfreezing force of the casing pipe and permafrost;  $T_{\text{пов}}$  – the temperature at the surface of rock;  $T_{\text{СТС}}$  – the temperature of the seasonally-thawed layer;  $T_{\text{ММП}}$  – the temperature of the permafrost;  $\delta$  – the height of the casing pipe cryogenic heaving;  $q$  – load on a string when it is compressed by ice

Расчетная схема основывается на условии предельного равновесия аналогичной модели ненагруженной сваи без учета ее собственной массы, устойчивость которой соблюдается для определенной безопасной глубины [14]. Схема взаимодействия обсадной трубы с СТС и ММП показана на рис. 1. По результатам расчета уточняется глубина погружения обсадной трубы, гарантирующая непроникновение подземных вод в заколонное пространство снизу в случае ее выпучивания (перемещения нижнего торца обсадной трубы вверх выше отметки уровня подземных вод). В случае, если допускается смерзание обсадной трубы с породой, производится расчет трубы и соединяющих ее элементов, например резьбовых,

на растяжение. На основании расчетных показателей разрабатываются мероприятия по предотвращению криогенного выпучивания обсадной трубы касательными силами пучения.

5. Расчет обсадной трубы в оттаивающих и оттаявших многолетнемерзлых дисперсных породах сливающегося или несливающегося типа на действие сил негативного (отрицательного) трения на боковой поверхности ненагруженной трубы по методике, изложенной в работе [15].

В этом случае расчетная схема принимается как для ненагруженной полый сваи круглого сечения без учета ее собственной массы. По результатам расчета уточняется отметка верхнего обреза обсадной трубы, гарантирующая недопущение проникновения подземных вод в заколонное пространство сверху в случае ее осадки совместно с оттаивающим массивом горных пород. На основании расчетных показателей разрабатываются мероприятия по предотвращению осадки обсадной трубы согласно [15].

6. Расчет обсадной трубы на совместное действие касательных сил криогенного пучения промерзающего СТС и сил негативного трения оттаивающих ММП сливающегося или несливающегося типа.

7. Проект инженерно-геокриологического мониторинга температурного режима и деформаций ММП вокруг скважины и на ключевых участках рудного поля.

**Выводы.** Разработаны рекомендации, дополняющие положения *Норм технологического проектирования горнодобывающих предприятий методом подземного выщелачивания (СТО СРО-П 60542948 00033-2015)* и определяющие состав работ по проектированию геотехнологических, водозаборных и других скважин в условиях криолитозоны:

- расчет температурного режима ММП, вмещающих геотехнологическую скважину на период ее эксплуатации;
- расчет на устойчивость колонны из полимерной трубы на действие внешнего давления, создаваемого при замерзании воды в заколонном пространстве;
- расчет обсадной трубы на действие касательных сил криогенного пучения сезонноталого слоя дисперсных ММП;
- расчет обсадной трубы на действие сил негативного трения при оттаивании дисперсных ММП.

В регионах криолитозоны с высокой сейсмической активностью целесообразно произвести расчет геотехнологической скважины (или группы скважин) на динамические воздействия на участках рудного поля с наиболее неблагоприятным сочетанием показателей сейсмического микрорайонирования.

Обращено внимание на необходимость детальных инженерно-геокриологических (сейсмо-геокриологических) исследований и мониторинга состояния ММП в границах рудного поля в течение всего срока освоения месторождения полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Feifei Wang, Zisheng Song, Xianghu Cheng, Huanhuan Ma. Patterns and features of global resources and production uranium. IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2017. No. 94. EEMS. IOP Publishing. P. 1–7.
2. World distribution of uranium deposits (UDEPO) with uranium deposit classification. IAEA, Vienna, 2009. Printed by the IAEA in Austria. 2009. October. 126 p.
3. Макарьев Л. Б., Царук И. И. Минерально-сырьевая база урана южной окраины Сибирской платформы // Уран: геология, ресурсы, производство, 28–30 ноября 2017 г.: матер. IV Междунар. симп. М.: ВИМС, 2017. С. 60–61.
4. Westermann S., Ostby T. I., Gisasnas K., Schuler T. V., Eitzelmüller B. A ground temperature map of the North Atlantic permafrost region based on remote sensing and reanalysis data // The Cryosphere. 2015. No. 9. P. 1303–1319.
5. Yang Z., Li Q., Horazdovsky J., Leroy H., Marx E. Analysis of laterally loaded piles in frozen soils // Geotechnical Special Publication. 2012. (225 GSP). P. 215–224.



6. Kou Y., Shukla S. K., Mohyeddin A. Experimental investigation for pressure distribution on flexible conduit covered with sandy soil reinforced with geotextile reinforcement of varying widths // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018. No. 80. P. 151–163.

7. Солодов И. Н., Гладышев А. В., Иванов А. Г. Опыт добычи урана методом СПВ в криолитозоне // *Уран: геология, ресурсы, производство*, 28–30 ноября 2017 г.: матер. IV Междунар. симп. М.: ВИМС, 2017. С. 105–107.

8. Шполянская Н. А. Вечная мерзлота Забайкалья. М.: Наука, 1978. 132 с.

9. Ширапова С. Д. Экологические последствия опытно-промышленной добычи урана в криолитозоне способом подземного выщелачивания // *Вестник Бурятского университета. География, геология*. Вып. 3. Улан-Удэ: Бурятский гос. ун-т, 2004. С. 11–20.

10. Сушко С. М., Асанов Н. С., Карманов Т. Д., Калиев Б. З., Кадыров Ж. Н., Кочетков А. В. Метод гидроизоляции затрубного пространства при сооружении геотехнологических скважин для подземного выщелачивания продуктивного горизонта // *Международный журнал экспериментального образования*. 2013. № 11. Ч. 2. С. 118–122.

11. James A. Saunders, Bruce E. Pivetz, Nathan Voorhies, Richard T. Wilkin. Potential aquifer vulnerability in regions down-gradient from uranium in situ recovery (ISR) sites // *Journal of Environmental Management*. 2016. No. 183. P. 67–83.

12. Железняк И. И., Черных Е. Н., Чечельницкий В. В. Исследование сочетания сейсмических и геокриологических условий для Северного Забайкалья // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2017. № 5. С. 21–25.

13. Стетюха В. А. Оценка эффективности природоохранных технологий при ведении горных работ в условиях многолетнемерзлых пород // *Известия вузов. Горный журнал*. 2006. № 6. С. 43–50.

14. Орлов В. О., Дубнов Ю. Д., Меренков Н. Д. Пучение промерзающих грунтов и его влияние на сооружения. М.: Стройиздат, 1977. 181 с.

15. Торгашев В. В. Свайные фундаменты в условиях высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 2001. 233 с.

16. Медведский Р. И. Строительство и эксплуатация скважин на нефть и газ в вечномерзлых породах. М.: Недра, 1987. 230 с.

17. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов. Более сложные вопросы и задачи. Т. 2. М.: Наука, 1965. 480 с.

18. Селезнев В. Е., Алешин В. В., Прялов С. Н. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов. Методы, модели и алгоритмы: науч. монография. М., Берлин: Директ-Медиа, 2014. 694 с.

Поступила в редакцию 18 июня 2018 года

**Для цитирования:** Железняк И. И., Стетюха В. А. О проектировании геотехнологических скважин в криолитозоне Забайкалья и сопредельных регионов // *Известия вузов. Горный журнал*. 2018. № 8. С. 41–49.

#### Сведения об авторах:

**Железняк Илья Иосифович** – доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН. E-mail: lgc255@mail.ru

**Стетюха Владимир Алексеевич** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры сопротивления материалов и механики Забайкальского государственного университета. E-mail: intel@zabgu.ru

## ON THE DESIGN OF GEOTECHNOLOGICAL WELLS IN THE CRYOLITIC ZONE OF TRANSBAIKAL AND ADJACENT REGIONS

Zhelezniak I. I.<sup>1</sup>, Stetiukha V. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Natural Resources, Ecology, and Cryology, Siberian Branch of RAS, Chita, Russia.

<sup>2</sup> Transbaikalian State University, Chita, Russia.

*The aim of the research is to develop a methodology and work scope on wells design during the development of mineral deposits, taking into account the impact of dangerous cryogenic processes in seasonally thawed and thawing layers of dispersed rocks on their structural elements.*

*The relevance of the research is related to ensuring operational reliability, efficiency and safety of vertical geotechnological, water intake, and other wells in operating, emergency or temporarily shutdown condition located in the cryolithic zone of Transbaikalian and adjacent regions.*

*The research methodology provides for the analysis of working conditions of an operating string of polymer material in wells of various purposes, taking into account the most unfavorable climatic and*

geocryological factors, characteristic, in particular, of the northern part of the Transbaikalian cryolithic zone. Evaluation of these factors influence on the string of polymer material in the well is based on the laws of thermodynamics. Additional loads caused by water freezing in a closed cavernous space, accompanied by string deformation when it is compressed by ice, are taken into account. Evaluation of the casing pipe stability against the action of the tangential forces of heaving, forces of negative friction and seismic action provides for the application of proven calculation methods obtained as a result of many years of in-situ and experimental-theoretical studies in Transbaikalian region.

**Research results** are presented in a form of recommendations supplementing the scope and content of works on the design of vertical geotechnological, water intake and other wells in the development of mineral deposits in arrays of permafrost.

**Key words:** permafrost; well; string; casing pipe; design; strength; stability.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-41-49

#### REFERENCES

1. Feifei Wang, Zisheng Song, Xianghu Cheng, Huanhuan Ma. Patterns and Features of Global Uranium Resources and Production. IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science, 94, 2017, EEMS, IOP Publishing, pp. 1–7.
2. World distribution of uranium deposits (UDEPO) with uranium deposit classification. IAEA, Vienna, 2009. Printed by the IAEA in Austria, October 2009. 126 p.
3. Makar'ev L. B., Tsaruk I. I. [Raw mineral base of uranium of the Siberian platform's southern rim. Proc. 4th Internat. Symp. of 28th–30th November, 2017 "Uranium: Geology, Resources, and Production"]. Moscow, Federal Agency for Subsoil Use "All-Russian Scientific Research Institution of Mineral Resources" Publ., 2017, pp. 60–61. (In Russ.)
4. Westermann S., Ostby T. I., Gisas K., Schuler T. V., Ezelmüller B. A ground temperature map of the North Atlantic permafrost region based on remote sensing and reanalysis data. *The Cryosphere*, 2015, no. 9, pp. 1303–1319.
5. Yang Z., Li Q., Horazdovsky J., Leroy H., Marx E. Analysis of laterally loaded piles in frozen soils. *Geotechnical Special Publication*, 2012 (225 GSP), pp. 215–224.
6. Kou Y., Shukla S. K., Mohyeddin A. Experimental investigation for pressure distribution on flexible conduit covered with sandy soil reinforced with geotextile reinforcement of varying widths. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2018, no. 80, pp. 151–163.
7. Solodov I. N., Gladyshev A. V., Ivanov A. G. [An experience of producing uranium using a method of underground borehole leaching in cryolithic zone. Proc. 4th Internat. Symp. of 28th–30th November, 2017 "Uranium: Geology, Resources, Production"]. Moscow, Federal Agency for Subsoil Use "All-Russian Scientific Research Institution of Mineral Resources" Publ., 2017, pp. 105–107. (In Russ.)
8. Shpolianskaia N. A. [Permafrost of the Transbaikalian region]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 132 p.
9. Shirapova S. D. [Environmental consequences of experimental-industrial production of uranium in cryolithic zone using the method of underground leaching]. *Vestnik Buriatskogo universiteta. Geografiia, geologiiia – Buryat State University Bulletin. Geography and Geology*, issue 3. Ulan-Ude, BSU Publ., 2004, pp. 11–20. (In Russ.)
10. Sushko S. M., Asanov N. S., Karmanov T. D., Kaliev B. Z., Kadyrov Zh. N., Kochetkov A. V. [A method of waterproofing the annular space when building geotechnological wells for underground leaching of a producing horizon]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniia – International Journal of Experimental Education*, 2013, no. 11, pt. 2, pp. 118–122. (In Russ.)
11. James A. Saunders, Bruce E. Pivetz, Nathan Voorhies, Richard T. Wilkin. Potential aquifer vulnerability in regions down-gradient from uranium in situ recovery (ISR) sites. *Journal of Environmental Management*, 2016, no.183, pp. 67–83.
12. Zhelezniak I. I., Chernykh E. N., Chechel'nitskii V. V. [Research of seismic and geocryological conditions combination for the North of Transbaikalian region]. *Osnovaniia, fundamenti i mekhanika gruntov – Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2017, no. 5, pp. 21–25. (In Russ.)
13. Stetiukha V. A. [Efficiency estimation of environmental protection technologies when mining in the conditions of permafrost]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2006, no. 6, pp. 43–50. (In Russ.)
14. Orlov V. O., Dubnov Iu. D., Merenkov N. D. [Heaving of frozen soil and its influence on the constructions]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1977. 181 p.
15. Torgashev V. V. [Pile foundations in the conditions of high-grade permafrost]. Yakutsk, Permafrost Study Institute of SB RAS Publ., 2001. 233 p.
16. Medvedskii R. I. [Oil and gas wells construction and production in permafrost]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 230 p.
17. Timoshenko S. P. [Resistance of materials. More complex issues and tasks. Vol. 2]. Moscow, Nedra Publ., 1965. 480 p.
18. Seleznev V. E., Aleshin V. V., Prialov S. N. [Scientific monograph "Mathematical Modelling of Pipeline Networks and Channel Systems. Methods, Models, and Algorithms"]. Moscow, Berlin, Direkt-Media Publ., 2014. 694 p.

**Information about authors:**

**Zhelezniak Il'ia Iosifovich** – Doctor of Engineering Science, senior researcher of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of RAS. E-mail: lgc255@mail.ru

**Stetiukha Vladimir Alekseevich** – Doctor of Engineering Science, Associate Professor, professor of the Department of Strength of Materials and Soil Mechanics, Transbaikal State University. E-mail: intel@zabgu.ru

---

## ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ В КОМПЛЕКСЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГОРНОГО МАССИВА

ДАЛАТКАЗИН Т. Ш.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН

(Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58)

**Введение.** Статья посвящена вопросу совершенствования геодинамической диагностики горного массива, выполняемой для обеспечения безопасности ответственных объектов недропользования при проведении инженерно-геологических исследований. Для обеспечения безопасной эксплуатации объектов недропользования необходимо прогнозировать возможность и условия формирования критических состояний процесса деформирования горного массива, получения его пространственно-временных характеристик. При этом необходимо продуктивно привлекать и соответствующим образом интерпретировать всю, в том числе общегеологическую, информацию об исследуемом горном массиве, изучать его, основываясь на принципах синергетики – научного направления, ныне широко охватившего самые различные отрасли естественнонаучного знания. Одним из факторов, формирующих деформационный процесс горного массива, являются физико-механические свойства горных пород, в частности, их способность к тиксотропному разупрочнению. Поэтому задача изучения минерального состава глинистых отложений коры выветривания и его влияния на способность разупрочнения горного массива весьма актуальна.

**Методология.** Рассмотрены и проанализированы примеры геодинамической диагностики различных объектов недропользования, выполненной с учетом фактора, который необходимо учитывать в прогнозе деформационного процесса, – особенностей минерального состава глинистых пород, определяющего степень тиксотропного разупрочнения при механическом воздействии, в том числе при проявлении современных геодинамических движений.

**Результаты.** Установлено, что степень тиксотропного разупрочнения зависит от внешних и внутренних факторов, характерных для изучаемых объектов. К главным внешним факторам отнесены динамические воздействия на горный массив: современная геодинамическая активность; воздействие взрывных работ; движения транспорта и т. д. К главным внутренним факторам отнесены гранулометрический состав породы, ее минеральный состав и влажность.

**Вывод.** Комплексный, всесторонний подход при выполнении геодинамической диагностики для ответственных объектов недропользования позволяет расширить понимание процессов и явлений, происходящих в горном массиве, и способствует поиску оптимальных проектных решений, направленных на безопасное, рациональное освоение геологической среды.

**Ключевые слова:** горный массив; современная геодинамическая активность; минеральный состав; глины; тиксотропия.

**Введение.** При прогнозировании последствий влияния современной геодинамической активности на ответственные объекты недропользования необходимо исследовать вопрос возможных изменений физико-механических характеристик горных пород при динамических нагрузках, например способности дисперсных пород к тиксотропному разупрочнению.

Тиксотропия – физико-химическое явление, возникающее в дисперсных породах и выражающееся в их разжижении и полной потере прочности под влиянием внешних динамических воздействий и быстром восстановлении прочности при снятии внешних воздействий. Такие обратимые явления характерны для по-

род, обладающих структурными связями, обусловленными непосредственным взаимодействием частиц и агрегатов между собой. Эти связи отличаются малой прочностью, мобильностью и обратимостью.

Степень тиксотропного разупрочнения зависит от внешних и внутренних факторов. К внешним факторам относятся динамические воздействия на горный массив: современная геодинамическая активность; взрывные работы; движение транспорта и т. д. К внутренним факторам относятся гранулометрический состав породы, ее минеральный состав и влажность.

Гранулометрический состав грунтов имеет принципиальное значение для возможности тиксотропных изменений. Тиксотропные явления начинают наблюдаться уже при наличии в грунте глинистых частиц в количестве 1,5–2 %.

Наиболее склонны к проявлению тиксотропии глинистые породы, имеющие в составе монтмориллонит и гидрослюды.

Для минералов монтмориллонитовой группы ( $m\{Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2\} \cdot p\{Al,Fe\}_2[Si_4O_{10}][OH]_2\} \cdot nH_2O$ ) вследствие особенностей строения кристаллической решетки характерным признаком является переменное содержание в них воды, изменяющееся в зависимости от влажности окружающей среды. Вода легко проникает в кристаллическую решетку монтмориллонита, раздвигает ее и обуславливает сильные гидрофильность и набухаемость минерала. Высокие гидрофильность и набухаемость определяют тиксотропность монтмориллонита.

Гидрослюды являются промежуточным продуктом выветривания слюд. Разрушение кристаллической решетки слюд (на примере мусковита)  $KAl_2(OH) \cdot 2AlSi_3O_{10}$  происходит по схеме замещения ионов калия ( $K^+$ ) на связанные молекулы воды ( $H_2O$ ).

Кристаллическая структура гидрослюды незначительно отличается от структуры слюды и является переходной к структуре монтмориллонита. Пакеты слюды переслаиваются с пакетами монтмориллонита.

Молекулы  $H_2O$  располагаются в межпакетных пространствах, т. е. проникают вдоль плоскостей, разграничивающих плоские пакеты кристаллической структуры. Каждый пакет с обеих сторон на внешних плоскостях содержит гидроксильные ионы и, следовательно, пакеты примыкают друг к другу по поверхностям. Поэтому при проникновении воды происходит раздвижение этих пакетов. При этом межплоскостные расстояния кристаллической решетки могут колебаться в значительных пределах – от 9,6 до 28,4А в зависимости от количества молекул  $H_2O$ , участвующих в кристаллической структуре минерала.

Опыт исследований на различных горных предприятиях подтверждает необходимость изучения минерального состава глинистых пород в комплексе геодинамической диагностики [1–6].

### **Прогнозные исследования последствий затопления Березовского рудника.**

Для Березовского месторождения золота, горный массив которого расположен на селитебной территории, присутствие монтмориллонита в глинах коры выветривания явилось одной из основных причин негативного прогноза при определении возможности затопления.

Рыхлые мезокайнозойские отложения в пределах Березовского рудного поля представлены глинистой корой выветривания. Мощность коры выветривания, развитой повсеместно, составляет 2–3 м. По вещественному составу среди глинистых продуктов в зависимости от состава исходного субстрата, по данным А. В. Коровко, выделяются несколько типов: каолинитовый; каолин-гидрослюдистый; каолин-монтмориллонитовый; нонtronитовый.

Мощные коры выветривания (25–50 м) сформировались по гранитоидам даек. Линейные коры выветривания развиты до глубины 120 м вдоль зон тектониче-

ских нарушений и ослабленных зон на контактах пород. Линейные коры особенно хорошо проработаны в верхней части разреза.

Горный массив территории Березовского месторождения, совпадающей с территорией г. Березовский, характеризуется рядом особенностей. В прошлом добыча золота велась здесь по дайкам. В результате верхняя часть горного массива оказалась пронизанной многочисленными пустотами. При этом непосредственно рядом с пустотами и вдоль тектонических нарушений залегают каолин-гидрослюдистые и каолин-монтмориллонитовые глины – породы, склонные к проявлению тиксотропии при увлажнении.

В случае затопления рудника на завершающем этапе разработки месторождения произойдет замачивание верхней части разреза. При проявлении современной геодинамической активности, которая неизбежна на подработанной территории, будет наблюдаться тиксотропное разуплотнение глинистых пород, содержащих монтмориллонит и гидрослюды. Учитывая, что речь идет о городской территории, очевидна катастрофичность последствий [7–9].

### **Исследование причин формирования оползней в Коршуновском карьере.**

Тиксотропное разуплотнение глинистых пород определено как один из факторов, вызывающих процесс оползнеобразования в Коршуновском карьере одноименного железорудного месторождения.

Здесь, на северо-западном участке борта карьера, периодически, начиная с 1975 г., происходят крупные оползни при углах наклона борта  $22^\circ$ . По всем расчетным оценкам, скальные осадочные породы, слагающие этот борт, должны обеспечивать его устойчивость при углах  $28^\circ$ – $30^\circ$  с нормативным запасом устойчивости 1,3. Связь процесса оползнеобразования с временами года отсутствует. Многочисленные исследования, выполненные по всем правилам традиционными методами, так и не раскрыли причины и механизм оползнеобразования.

В 2007 г. Институтом горного дела УрО РАН под руководством А. Д. Сашурина выполнена комплексная, разработанная на принципах синергетики, структурно-геодинамическая диагностика, по результатам которой определены механизм формирования оползневого процесса и пути борьбы с ним.

Оползнеопасный участок расположен на Северном борту Коршуновского карьера, в зоне широтного разлома мощностью около 500 м.

Очевидцы, непосредственно наблюдавшие оползни Северного борта карьера Коршуновского месторождения, отмечали, что эти оползни фактически являлись селями [10]. Для селеобразования определяющее значение имеют тиксотропность и пльвучатость горных пород.

Глины, заполняющие межблоковые пространства скальных пород Северного борта, содержат монтмориллонит и гидрослюды.

Лабораторные испытания, выполненные в комплексе геодинамической диагностики, показали, что уже при влажности 0,2 доли ед. глина, отобранная из оползня, обладает тиксотропными свойствами (величина тиксотропного упрочнения 1,96). Одна из проб при заданной влажности 0,4 разжижалась даже при незначительном встряхивании.

По результатам эманационной съемки в оползневой зоне выявлены две подвижные системы разрывных нарушений. Наблюдения с применением технологий спутниковой геодезии GPS в районе оползневой зоны показали высокий уровень современной геодинамической активности. Анализ гидрогеологической ситуации исследуемого массива показал, что на участке Северного борта сформировались условия для переувлажнения глинистых пород, заполняющих межблоковые пространства.

По результатам геодинамической диагностики определен механизм процесса оползнеобразования, наблюдаемого в пределах Северного борта карьера.

Под влиянием современных короткопериодных геодинамических движений переувлажненные, характеризующиеся тиксотропным разупрочнением глинистые породы, заполняющие межблоковые пространства, находятся в неустойчивом, потенциально текучем состоянии. Длиннопериодные циклические нагрузки в определенный момент, когда параметры системы приобретают «благоприятные» значения, в так называемой точке бифуркации, переводят подготовленный массив в селеобразные оплывины [11, 12].

**Механизм формирования прорывов песчано-глинистых отложений на Соколовском подземном руднике.** Постоянной проблемой при разработке Соколовского подземного рудника являются прорывы мезокайнозойских песчано-глинистых отложений в очистное пространство из воронок обрушения, угрожающие безопасности ведения горных работ и вызывающие значительные экономические потери.

Формирование прорывов из мезокайнозойских отложений связано с особенностями строения и литологического состава массива Соколовского рудника [13].

Присутствие на дне заполненной водой воронки глин, преимущественно чеганских, геодинамических подвижек, связанных с непрерывным процессом формирования зоны обрушения, и периодического интенсивного вибровоздействия от промышленных взрывов определяет механизм формирования прорывов обводненных песчано-глинистых отложений в очистное пространство. Определяющее влияние на процесс формирования прорывов имеет минеральный состав чеганских глин, получивших региональное распространение и на 40 % состоящих из монтмориллонита [14].

Вследствие тиксотропного разуплотнения увлажненные на дне воронок чеганские глины, находясь в разжиженном состоянии из-за механического воздействия от взрывных работ и техногенных геодинамических движений, преодолевают фильтрационное сопротивление толщи дезинтегрированных скальных палеозойских пород зоны обрушения и проникают в очистное пространство. Здесь в состоянии покоя глины восстанавливают структурные связи и приобретают тугопластичное состояние, останавливая добычу руды.

**Вывод.** Приведенные примеры демонстрируют актуальность комплексного, всестороннего подхода при выполнении геодинамической диагностики, выполняемой с целью обеспечения безопасности ответственных объектов недропользования. Данный подход позволяет расширить понимание процессов и явлений в горном массиве, сопровождающих современную геодинамическую активность, и способствует поиску оптимальных проектных решений, направленных на безопасное, рациональное освоение геологической среды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М.: ГНТИ литературы по геологии и охране недр, 1956. 558 с.
2. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. М.: Недра, 1970. 528 с.
3. Bil Lig K. Thixotropic clay suspensions and their use in Civil Engineering. Civil Engineering and Public Works Review. Vol. 56. No. 665. Vol. 57. No. 666–668.
4. Felhmann H. Die Verwendung thixotroper Fleissigkeiten bei Senkkastengrundungen // Schweizerische Bauzeitung. 1958. No. 40.
5. Hook N. G. W. The failure of rock // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1965. No. 2. P. 389–403.
6. Yang T., Gong S. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China // Bull. Eng. Geol. Environ. 2010. Vol. 69. No. 4. P. 607–615.
7. Усанов С. В. Подработанные подземными работами территории в г. Березовский и оценка возможности их использования // ГИАБ. 2010. № 10. С. 349–352.
8. Далатказин Т. Ш. Литологические особенности горного массива г. Березовский в прогнозе активизации процесса сдвижения горных пород в случае затопления подземного рудника // Проблемы недропользования. 2016. № 3(10). С. 5–8.
9. Далатказин Т. Ш., Коновалова Ю. П. Прогноз последствий затопления Березовского рудника // Проблемы недропользования. 2017. № 3(14). С. 60–66.

10. Сашурин А. Д., Яковлев А. В., Ермаков Н. И., Панжин А. А., Наумов А. В. Роль тектонических деформаций породного массива в формировании оползневых явлений на Коршуновском карьере // ГИАБ. 2003. № 2. С. 193–196.

11. Далатказин Т. Ш. Исследования формирования оползней в Коршуновском карьере // Проблемы недропользования. 2017. № 2(13). С. 34–40.

12. Сашурин А. Д., Мельник В. В., Панжин А. А. Решение задачи устойчивости бортов в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм карьеров // Инженерная защита. 2015. № 2(7). С. 80–86.

13. Исаченко О. С., Верин С. В., Раков А. И. Соколовский подземный рудник // Горный журнал. 2004. № 7. С. 37–42.

14. Максимович Н. Г., Меньшикова Е. А., Казакевич С. В., Шлыков В. Г. Минералогия чеганских глин и ее инженерно-геологическое значение // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Червинского: сб. науч. ст. Пермь, 2000. С. 40–43.

Поступила в редакцию 28 июня 2018 года

**Для цитирования:** Далатказин Т. Ш. Изучение вещественного состава коры выветривания в комплексе геодинамической диагностики горного массива // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 50–55.

#### Сведения об авторах:

**Далатказин Тимур Шавкатович** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией технологий снижения риска катастроф при недропользовании Института горного дела УрО РАН. E-mail: 9043846175@mail.ru

### STUDY OF THE MATERIAL COMPOSITION OF THE WEATHERING CRUST IN THE COMPLEX OF GEODYNAMIC DIAGNOSTICS OF THE MASSIF

**Dalatkazin T. Sh.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

**Introduction.** The article is devoted to the question of improving the geodynamic diagnostics of the rock massif, which is carried out to ensure the safety of critical subsoil use objects when carrying out engineering and geological research. To ensure the safe operation of subsoil use objects, it is necessary to predict the possibility and conditions for the formation of the rock massif deformation process critical states, obtaining its spatial-temporal characteristics. At the same time, it is productive to attract and appropriately interpret all, including general geological, information about the investigated rock massif, to study it based on the principles of synergetics - the scientific direction that has now widely embraced the most diverse branches of natural science knowledge. One of the factors forming the deformation process of the rock massif are the physical and mechanical properties of rocks and, in particular, their ability of thixotropic softening. Therefore, the necessity of studying mineral composition of the clay deposits of the weathering crust and its influence on the rock massif's ability of softening is rather relevant.

**Methodology.** The article examines and analyzes examples of geodynamic diagnostics of various subsoil use objects, taking into account one of the factors that must be taken into account in the forecast of the deformation process - the features of the mineral composition of clay rocks that determine the degree of thixotropic decomposition under mechanical influence, including the development of modern geodynamic movements.

**Results.** The degree of thixotropic softening depends on external and internal factors typical of the objects under consideration. The main external factors include dynamic impacts on the rock massif: modern geodynamic activity, the impact of blasting, traffic, etc. The main internal factors include the granulometric composition of the rock, its mineral composition and moisture content.

**Conclusion.** A complex and comprehensive approach to the implementation of geodynamic diagnostics for critical subsoil use objects allows us to broaden the understanding of processes and phenomena occurring in the rock massif and contribute to the search for optimal design solutions aimed at the safe and rational development of the geological environment.

**Key words:** rock massif; modern geodynamic activity, mineral composition; clays; thixotropy.

Research has been carried out under the government contract 007-00293-18-00, theme no. 0405-2015-0012.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-50-55

#### REFERENCES

1. Betekhtin A. G. [Mineralogy course]. Moscow, GNTI literature po geologii i okhrane nedr Publ., 1956. 558 p.
2. Lomtadze V. D. [Engineering geology. Engineering petrology]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 528 p.



3. Bil Lig K. Thixotropic clay suspensions and their use in Civil Engineering. *Civil Engineering and Public Works Review*, vol. 56, no. 665, vol. 57, no. 666–668.
4. Felhmann H. Die Verwendung thixotroper Fleissigkeiten bei Senkkastengrundungen. *Schweizerische Bauzeitung*, 1958, no. 40.
5. Hook N. G. W. The failure of rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 1965, no. 2, pp. 389–403.
6. Yang T., Gong S. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China. *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 2010, vol. 69, no. 4, pp. 607–615.
7. Usanov S.V. [Exhausted by mining works underground territory in berezovsky city and assessment of possibilities of their use]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2010, no. 10, pp. 349–352. (In Russ.)
8. Dalatkazin T. Sh. [Lithological peculiarities of Bereзовsky town rock mass in the forecast of activating rock displacement process in case of mine submersion]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2016, no. 3(10), pp. 5–8. (In Russ.)
9. Dalatkazin T. Sh., Konovalova Iu. P. [Consequences forecast of the Bereзовsky mine flooding]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2017, no. 3(14), pp. 60–66. (In Russ.)
10. Sashurin A. D., Iakovlev A. V., Ermakov N. I., Panzhin A. A., Naumov A. V. [The role of rock massif tectonic deformations in the formation of landslide at Korshunov open pit]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2003, no. 2, pp. 193–196. (In Russ.)
11. Dalatkazin T. Sh. [Researches of landslide formation at Korshunov open pit]. *Problemy nedropol'zovaniia – The Problems of Subsoil Use*, 2017, no. 2(13), pp. 34–40. (In Russ.)
12. Sashurin A. D., Mel'nik V. V., Panzhin A. A. [Solving the problem of benches stability with the purpose of securing potentially hazardous sections of open pit transport berms]. *Inzhenernaia zashchita – Territory Engineering*, 2015, no. 2(7), pp. 80–86. (In Russ.)
13. Isachenko O. S., Verin S. V., Rakov A. I. [Sokolovsky underground mine]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2004, no. 7, pp. 37–42. (In Russ.)
14. Maksimovich N. G., Men'shikova E. A., Kazakevich S. V., Shlykov V. G. [The mineralogy of chegansky clays and its engineering-geological significance]. [Proc. Scientific Readings in Memory of P. N. Chervinsky “The Problems of Mineralogy, Petrography, and Metallogeny.”]. Perm, 2000, pp. 40–43. (In Russ.)

#### Information about authors:

**Dalatkazin Timur Shavkatovich** – Candidate of Engineering Science, Head of the Laboratory of Disaster Risk Reduction Technologies in Subsoil Use, Institute of Mining UB RAS. E-mail: 9043846175@mail.ru

---

## ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА МИКРОТРЕЩИНЫ ГОРНЫХ ПОРОД

РЗАЕВ АБ. Г.<sup>1</sup>, РАСУЛОВ С. Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт систем управления Национальной академии наук Азербайджана  
(Азербайджан, г. Баку, ул. Б. Вахабзаде, 9)

<sup>2</sup> Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности  
(Азербайджан, г. Баку, пр. Азадлыг, 34)

**Введение.** Способность взаимодействия горной породы с глубинной водой тесно связана с аномальными свойствами воды: быстройрастворяющей и диссоциирующей характеристикой, аномально высокой температурой кипения, полярностью и поверхностной активностью молекул. При этом молекулы воды в присутствии других полярных молекул способны образовывать водородные мостики между атомами кислорода двух оказавшихся рядом молекул так, что атом водорода располагается на отрезке, соединяющем атомы кислорода. Образование тетраэдрических зародышей является аномалией жидкого кристалла воды. В этом аспекте исследование особенностей взаимодействия жидкого кристалла воды с трещинами горных пород, приводящего к разрушению трещин, является актуальной задачей.

**Цель работы.** Определение механизма взаимодействия горной породы с глубинной водой и разработка физических моделей жидкого кристалла воды для определения его роли в разрушении горных пород.

**Методологии исследования.** В работе анализируется существующее состояние проблем определения механизма взаимодействия глубинной воды с горной породой. Предложен новый подход к определению этого механизма. Показано, что глубинная вода является одним из определяющих факторов разрушения горной породы.

**Результаты исследования.** Сконструирована физическая модель жидкого кристалла воды, состоящая из 92 молекул. Предложен новый подход определения взаимодействия глубинной воды с трещинами горных пород.

**Выводы и область применения результатов.** Использован комплексный подход к анализу особенностей механизма взаимодействия горной породы с глубинной водой. Разработаны математические модели процесса фильтрации воды в трещины горных пород, приводящей к набуханию и разрыву трещин. Показано, что значение расклинивающего давления может достигать 230 МПа, что значительно больше предела устойчивости многих горных пород. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании землетрясений путем определения механизма взаимодействия подземных вод с микротрещинами горных пород.

**Ключевые слова:** трещина; горная порода; глубинная вода; давление; набухание; межмолекулярная сила.

**Введение.** Аномальные свойства воды, такие как высокая температура кипения, значительная растворяющая и диссоциирующая способность, малая теплопроводность, высокая теплота испарения и другие, обуславливаются строением ее молекулы и пространственной структурой.

Молекулы воды в присутствии других молекул способны образовывать водородные мостики между атомами кислорода двух оказавшихся рядом молекул так, что атом водорода располагается на отрезке, соединяющем атомы кислорода. Способность образовывать такие мостики обусловлена наличием особого межмолекулярного взаимодействия, в котором существенную роль играет атом водорода. Это взаимодействие называется водородной связью [1, 2].

Каждая из присоединенных к данной молекуле воды способна к присоединению дальнейших молекул. Этот процесс можно назвать полимеризацией. Если только одна из двух возможных связей участвует в присоединении следующей молекулы, а другая остается вакантной, то «полимеризация» приведет к образованию либо зигзагообразной цепи, либо замкнутого кольца. Таким же образом располагаются молекулы кварца ( $\text{SiO}_2$ ), представляющие собой основы земной твердости, не дающей минералам в горных породах (ГП) рассыпаться в прах. На вершинах тетраэдрических структур находятся кислород и кремний [3, 4].

Необходимо отметить, что 85 % массы твердой земной коры (ЗК) составляют силикаты, которые часто содержат воду и являются важнейшими породообразующими минералами различных ГП (роговые обманки, пироксены, гранаты и другие); глубинные воды участвуют в процессе подготовки сильных землетрясений [5, 6]; поступление воды в систему свежевскрытых трещин ГП облегчает их дальнейшее спонтанное разрушение согласно эффекту Ребиндера [7–9]; механизм воздействия воды состоит в облегчении развития микротрещин, которые возникают на основе слабых мест – дефектов в кристаллической решетке [10]; структурированная вода имеет большую вязкость, чем свободная вода [3]; повышение степени минерализации воды приводит к увеличению ее вязкости; в пластовых условиях вязкость воды изменяется приблизительно от 0,3 до 1,33 МПа · с [11]. Указанные особенности позволяют сделать вывод о том, что физико-химическое взаимодействие глубинной воды с ГП происходит в результате таких процессов, как осмотический массообмен, изменение расклинивающего давления и набухание, при которых развиваемое давление в отдельных случаях достигает сотен МПа. Вода, проникающая в полость между коллоидами, подвергается сильному сжатию, например, при набухании давление в полостях доходит до 40 МПа.

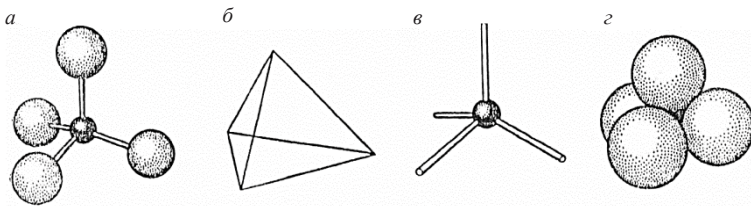


Рис. 1. Способы изображения тетраэдрической координации кислорода вокруг кремния или алюминия:

*a* – модель из шариков и стержней; *б* – сплошной тетраэдр; *в* – каркас тетраэдра;

*г* – объемная модель

Fig. 1. The methods of presenting tetrahedral coordination of oxygen around silicon and aluminium:

*a* – models of balls and bars; *b* – solid tetrahedron; *c* – wireframe of a tetrahedron;

*d* – three-dimensional model

**Цель работы.** Определение механизма взаимодействия горной породы с глубинной водой и разработка физических моделей жидкого кристалла воды для определения роли последнего в разрушении горных пород.

**Методологии исследования.** В работе анализируется существующее состояние проблем определения механизма взаимодействия глубинной воды с горной породой. Предложен новый подход к определению этого механизма. Показано, что глубинная вода является одним из определяющих факторов разрушения горной породы.

**Результаты.** Кристаллическая структура образца ГП построена из групп  $\text{SiO}_4^{4-}$  и ионов натрия и кальция, расположенных между ними в октаэдрических положениях [3].

В  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  к каждому иону  $\text{SiO}_4^{4-}$  присоединены два атома водорода. При этом для изображения кристаллической структуры силикатов, которые составляют основу ЗК, используется 4 вида моделей  $\text{SiO}_2$  (рис. 1).

При построении квазикристаллической (тетраоктаэдрической и тритетраэдрической) структуры глубинной воды в трещинах ГП воспользуемся моделью, представленной на рис. 1, а.

С учетом ранее изложенного сконструирована объемно-структурная модель кристалла воды в виде симметричной (совершенной) фигуры тетрадодекаэдра, составленной из 92 тетраэдров (рис. 2), где на вершинах и гранях – положительные и отрицательные заряды и 3-тетрадодекаэдровая кристаллическая структура [4].

При соединении трех тетрадодекаэдров получена оригинальная квазикристаллическая структура (рис. 2, б), которая с изменением глубины (до очага землетрясения) будет уплотняться, пористость уменьшится, следовательно, повысится прочность структуры.

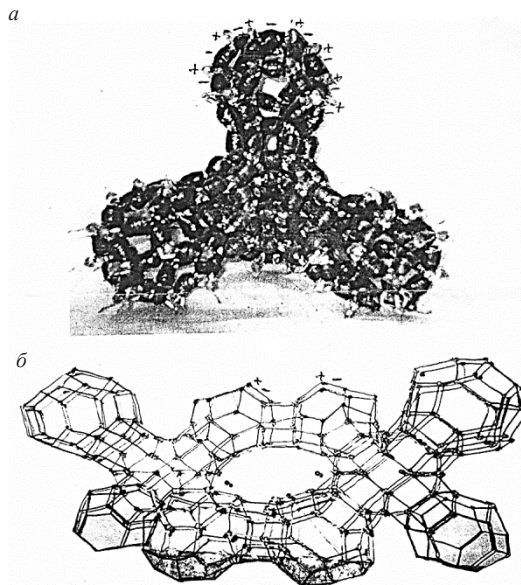


Рис. 2. Объемно-структурная модель кластера глубинной воды:

а – тетраоктаэдрическая структура; б – 3-тетраоктаэдрическая структура

Fig. 2. 3D structural model of deep water cluster:

а – tetraoctahedral structure; б – 3-tetraoctahedral structure

Согласно правилу Кёна, из двух соприкасающихся фаз положительно заряжается та, которая имеет большую диэлектрическую проницаемость [12]. Именно поэтому многие вещества, в том числе ГП, находящиеся в контакте с водой, имеющие большую диэлектрическую проницаемость за счет водородной связи, заряжаются отрицательно. Как следует из рис. 2, квазикристаллическая структура воды способна образовывать многочисленные водородные связи со стенками трещин и выполняет роль жидкостного клина.

Наращение напряжения смягчается флюидо-насыщенными микротрещинами. Доказано, что глубинная вода участвует в процессе подготовки землетрясения [13]. Эффективность сдвига связана с повышением активности (квазикристалличности) глубинной воды. По мнению авторов работы [9], фактор внутреннего времени эволюции очага определяется исключительно перетоком внутренних вод. Скорость заполнения очага водой составляет от 1 до 10 дней, что сравнимо с этапом перехлеста (заключительной стадией землетрясения). При этом глубинная проницаемость составляет 0,01–0,1 Дарси. В работе [9] также отмечается, что поступление воды в систему свежевскрытых трещин, согласно Ребиндеру [10], облегчает их дальнейшее спонтанное разрушение, а полученная оценка времени объясняет временной разрыв (несколько дней) между срочными прогнозами и собственным ударом. Трещины после возникновения продолжают распространяться [14], и поглощение воды продолжается до тех пор, пока давление у окончания трещины не станет ниже регионального давления разрыва ГП за счет трения или фильтрационных потерь по ее длине.

Капиллярные давления (КД) в трещинах, которые являются вертикально ориентированными [5], поднимают смачивающую воду (рис. 3) [14], определяются равновесием сжимающего усилия мениска, направленного вертикально вверх (сила поверхностного натяжения) и силой тяжести, действующей на столбик воды, направленной вертикально вниз.

Поэтому

$$\pi r^2 \rho g h = 2\pi r \sigma \cos \theta, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h$  – высота столбика в состоянии равновесия;  $\sigma$  – поверхностное натяжение;  $\theta$  – краевой угол смачивания;  $r$  – радиус капилляра.

Уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$P_k = \rho g h = 2\sigma_{1,3} \cos \theta / r,$$

где  $\rho g h$  определяет усилие, поднимающее жидкость по капилляру и называется капиллярным давлением (рис. 3),  $\sigma_{1,3}$  – поверхностное натяжение воды на границе твердого тела.

Полное смачивание соответствует неограниченному растеканию жидкости по поверхности твердого тела и является, таким образом, самопроизвольным изотермическим процессом, что сопровождается всегда убылью свободной энергии на каждый последующий 1 см<sup>2</sup> смоченной поверхности.

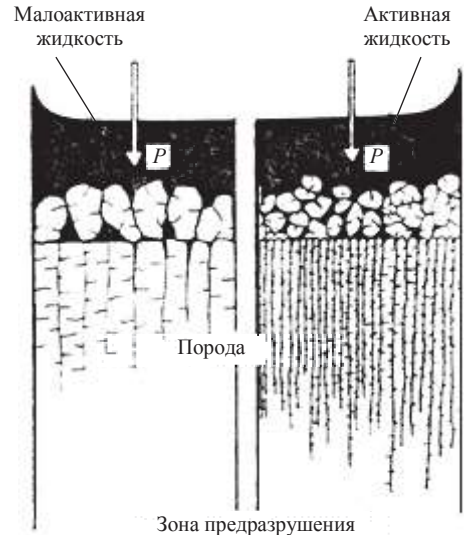


Рис. 3. Схема развития зоны предразрушения при механическом разрушении породы в малоактивной и активной жидкостях

Fig. 3. Development scheme of a fracture process zone under mechanical destruction of rock in low-active and active liquids

Эта убыль, называемая также коэффициентом растекания, должна быть положительной:

$$-\frac{dF}{dS} > (\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3}) = \beta > \sigma_{1,2},$$

где  $\beta$  – энергия смачивания;  $\sigma_{1,3}$  – поверхностное натяжение воды на границе газа;  $\sigma_{2,3}$  – поверхностное натяжение газа на границе твердого тела.

Условие полного смачивания, т. е. убыль энергии при вытеснении водой 1 газа 2, с которой ранее граничила поверхность твердого тела 3, должно быть больше, т. е.

$$(\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3}) - \sigma_{1,2} > 0 (\beta > \sigma_{1,2}).$$

Когда условие растекания не выполняется, т. е.

$$-\frac{dF}{dS} = (\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3}) - \sigma_{1,2} < 0,$$

и вода 1 образует с поверхностью 3 конечный краевой угол ( $\theta$ ):

$$\frac{(\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3})}{\sigma_{1,2}} = \cos \theta = B, \quad \text{где } -1 \leq B \leq 1,$$

КД, играющее роль всасывающей силы, меньше своего максимального значения ( $P_{\max} = 2\sigma_{1,2/r}$ ) и составляет

$$P_{\sigma} = (2\sigma_{1,2/r}) \cos \theta = P_{\max} B.$$

В случае, когда энергия смачивания положительна ( $\beta > 0$ , хотя и меньше  $2\sigma_{1,2}$ ), КД будет направлено в сторону всасывания, что соответствует  $\theta < 90^\circ$ , т. е.

$$0 \leq \theta < 90^\circ, \quad 0 < B \leq 1, \quad 0 < P_{\sigma} \leq P_{\max}.$$

Когда  $\theta$  становится больше  $90^\circ$ , т. е. в случае отрицательной энергии смачивания  $\beta = \sigma_{2,3} - \sigma_{1,3} > 0$ , КД меняет знак ( $-1 \leq B < 0$ ,  $P_{\sigma} > 0$ ) и становится выталкивающей силой, препятствующей проникновению воды в капилляры, особенно при низкой проницаемости.

Проведенные исследования показывают, что КД, значение которого зависит от свойств поверхностей раздела, определяет многочисленные капиллярные эффекты, оказывающие большое влияние на движение воды в микротрещинах.

В результате исследования [14] выявлено, что смачивание открытых поверхностей микротрещин водой не только влияет на изменение КД, но и является причиной набухания и создания огромного порового давления, как было отмечено ранее [15, 16].

При этом в процессе дилатансии в дислокационных (дефектных) местах кристаллической решетки ГП возникают микротрещины. Через них в более глубокие слои ГП проникает вода (как поверхностно-активное и полярное вещество), постепенно углубляет трещины, подрывает их прочность изнутри (рис. 3) [10, 17].

Возможны два механизма адсорбции воды и набухания микротрещин ГП: адсорбция мономолекулярных слоев воды на обе стороны микротрещины (которая обычно называется кристаллическим набуханием или поверхностной гидратацией)

и осмотическое набухание, происходящее вследствие высокой концентрации ионов, удерживаемых электростатическими силами вблизи поверхности микротрещины [15, 16]. При этом давление набухания при любом заданном содержании воды связано с давлением паров воды в ГП и определяется уравнением

$$P_s = -\frac{RT}{V} \ln \frac{P}{P_0},$$

где  $P_s$  – давление набухания;  $T$  – абсолютная температура;  $V$  – парциальный мольный объем воды;  $R$  – газовая постоянная;  $P/P_0$  – относительное давление паров воды, находящееся в равновесии с водой в ГП (это давление равно активности воды в ГП).

В процессе набухания вода имеет определенную структуру и обладает квазикристаллическими свойствами. На рис. 4 показано, что при кристаллическом набухании первый слой воды удерживается между поверхностями микротрещины с шестигранной решеткой атомов кислорода [17].

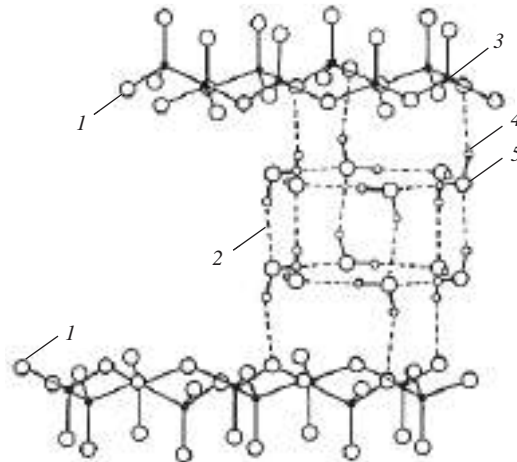


Рис. 4. Адсорбционные слои воды между поверхностями микротрещин ГП:

1 – поверхности микротрещин ГП; 2 – адсорбционный слой воды; 3 –  $\text{SiO}_2$ ; 4 – атом водорода; 5 – атом кислорода  
Fig. 4. Adsorption layers of water between rock microcracks surfaces:

1 – rock microcracks surfaces; 2 – adsorption layer of water; 3 –  $\text{SiO}_2$ ; 4 – hydrogen atom; 5 – oxygen atom

При адсорбции вода проникает в устье под влиянием вакуума в микротрещине (рис. 5) и капиллярного давления.

В части микротрещины (вблизи устья) тонкая пленка воды, заполняющая зазор щели, может производить дополнительное расклинивающее давление.

Проведенные исследования показали, что, когда адсорбционная сила больше силы сцепления, в структуре ГП происходят набухание и коллоидные растворения – пептизация сравнительно мягких и неоднородных по структуре и составу частей ГП.

Как известно, все реальные твердые тела содержат множество неоднородностей, начиная от дефектов или слабых мест и заканчивая микротрещинами разных размеров, пронизывающими кристаллические структуры ГП. Разрывы при разрушении твердых тел происходят в местах наименьшего сопротивления.



Можно указать три механизма понижения прочности деформированной ГП под влиянием адсорбционных вод:

– экранирование силы сцепления, действующей между противоположными поверхностями зародышевых микротрещин посредством прослоек, образованных адсорбционными силами;

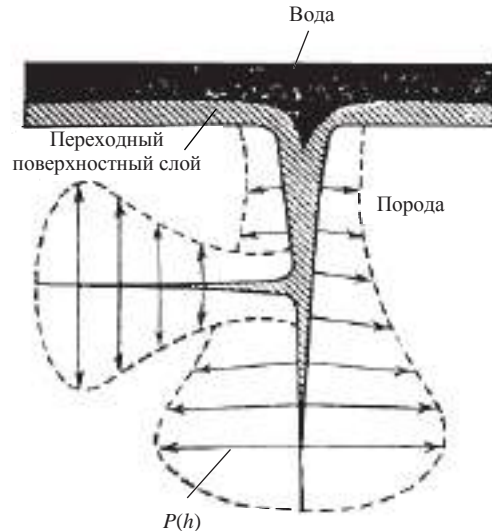


Рис. 5. Схема развития микротрещин и расклинивающего давления смачивающих пленок жидкости

Fig. 5. Development scheme of microcracks and wedging pressure of wetting films of liquid

максимальное значение, так как значение  $\eta$  для воды минимально. При этом гидрофильные твердые тела, к которым относятся почти все горные породы, легко разрушаются в воде.

На разрушение ГП существенно влияет расклинивающее давление, максимальное значение которого приближенно определяется по следующей формуле:

$$P_{\max} \approx 2\sigma_{1,2} / l_{\min},$$

где  $\sigma = 73$  эрг/см<sup>2</sup>;  $l_{\min}$  – минимальная ширина щели.

Значение  $P_{\max}$  может достигать 230 МПа.

Образование водных оболочек на поверхности твердых тел и изменение их толщины может происходить по следующим причинам. Во-первых, молекулы, ионы или атомы кристаллической решетки ГП, находящиеся на поверхности, за счет адсорбционных молекулярных сил притягивают молекулы воды. Такая гидратация может быть значительно повышена за счет адсорбции ионов. Более гидрофильные ионы электролита (воды) понижают твердость, т. е. ионы сильнее и в большом количестве связывают дипольные молекулы воды. Во-вторых, ионы – понизители твердости – могут адсорбироваться на поверхности твердых тел с образованием так называемого двойного электрического слоя. Степень гидратации поверхности за счет этого слоя в известной степени характеризуется величиной электрокинетического потенциала.

**Выводы и область применения результатов.** При набухании нагруженной ГП происходит увеличение ее объема. Молекулы воды, размеры которых очень малы, под действием капиллярных, двухмерных и расклинивающих давлений

– активное раздвигающее действие прослоек воды во всех тех наиболее узких участках клиновидных микротрещин, куда только эти прослойки могут проникать;

– затруднение или замедление смыкания зародышевых участков микротрещин под влиянием адсорбционных слоев и сольватных пленок воды после снятия внешних усилий.

Глубина проникновения воды в микротрещины за время  $t$  может быть определена по следующей формуле:

$$x = [\sigma \cos \theta / 2\eta l t]^{1/2}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение воды;  $\theta$  – угол смачивания породы водой;  $l$  – ширина щели;  $\eta$  – вязкость воды.

Как видно из формулы (2), глубина проникновения воды по сравнению с другими жидкостями имеет макси-



проникают в пространство между поверхностями микротрещин. При этом в процессе адсорбции молекулы воды образуют кластеры (рис. 2), и создаваемое давление в отдельных случаях может достигать десятков и даже сотен МПа, т. е. эквивалентно внешнему давлению, которое приложено в ГП. В тех случаях, когда суммарный эффект, создаваемый внешним нагружением и давлением набухания, превышает прочность ГП, происходит соединение ослабленных мест (трещин) в одну линию и ее разрыв, освобождается огромное количество энергии в виде упругих волн – возникает землетрясение. Все остальные трещины за счет молекулярных сил смыкаются, возрастают модуль упругости ГП и скорость распространения волны.

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании землетрясений путем определения механизма воздействия подземных вод на микротрещины горных пород.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Габуда С. П. Связанная вода. Факты и гипотезы. Новосибирск: Наука, 1982. 159 с.
2. Павлов Н. Н. Неорганическая химия. М.: Высшая школа, 1986. 336 с.
3. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита / пер. с англ. М.: Мир, 1976. 782 с.
4. Рзаев Аб. Г., Расулов С. Р. Информационная основа биологического нейрона // Известия Азербайджанской инженерной академии. 2015. Т. 7. № 1. С. 121–132.
5. Crampin S., Gao J., Bukits Y. A review of retrospective stress-forecasts of earthquakes and eruptions. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2015.05.008>.
6. Rodkin M. V., Tikhonov I. N., 2014. Seismic Regime in the Vicinity of the 2011 Tohoku Mega Earthquake (Japan. Mw – 9). Pure and Applied Geophysics. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00024-013-0768-5>.
7. Николаевский В. Н., Собисевич Л. Е. Природа бифокального очага землетрясения и предвестники удара // Геофизический журнал. 2015. Т. 37. № 4. С. 51–74.
8. Траскин В. Ю. Эффект Ребиндера в тектонофизике // Физика Земли. 2009. № 11. С. 952–963.
9. Траскин В. Ю., Скворцова З. Н. Эффект Ребиндера в геодинамических процессах // Флюиды и геодинамика. М.: Наука, 2006. С. 147–164.
10. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. М.: Наука, 1979. 384 с.
11. Муравьев В. М. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 1978. 448 с.
12. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1989. 464 с.
13. Rodkin M. V., Tikhonov I. N. The typical seismic behavior in the vicinity of a large earthquake. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpps.2016.04.001>.
14. Рзаев Аб. Г., Расулов С. Р., Оруджев В. В., Абдурахманова А. М. Определение петрофизических характеристик геологически неоднородных пластов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 4. С. 18–21.
15. Грей Дж. Р., Дарли Г. С. Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей) / пер. с англ. М.: Недра, 1985. 509 с.
16. Саушин А. З., Журавлев Г. И., Лямина Н. Ф. Механизм взаимодействия глинистых пород с фильтратом бурового раствора // Нефтегазовые технологии. 2010. № 6. С. 3–4.
17. Ребиндер П. А., Венстрем Е. К. Влияние среды и адсорбционных слоев на пластическое течение металлов // Известия АН СССР. Серия физическая. 1973. № 4/5. С. 531–550.

Поступила в редакцию 14 июня 2018 года

**Для цитирования:** Рзаев Аб. Г., Расулов С. Р. Особенности воздействия подземных вод на микротрещины горных пород // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 56–65.

#### Сведения об авторах:

**Рзаев Аббас Гейдар оглы** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института систем управления Национальной академии наук Азербайджана. E-mail: [abbas\\_r@mail.ru](mailto:abbas_r@mail.ru)  
**Расулов Сакит Рауф оглы** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной безопасности и охраны труда Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности. E-mail: [rasulovsakit@gmail.com](mailto:rasulovsakit@gmail.com)

## FEATURES OF UNDERGROUND WATERS INFLUENCE ON ROCKS MICROCRACKS

Rzaev Ab. G.<sup>1</sup>, Rasulov S. R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Control Systems, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan.

<sup>2</sup> Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan.

**Introduction.** The ability of rock to interact with deep water is closely related to the anomalous properties of water: a quick-dissolving and dissociating characteristic, an anomalously high boiling point, polarity and surface activity of molecules. In this case, water molecules in the presence of other polar molecules are capable of forming hydrogen bridges between the oxygen atoms of two nearby molecules so that the hydrogen atom is located on the segment connecting the oxygen atoms. The formation of tetrahedral nuclei is an anomaly of a liquid crystal of water. In this aspect, the study of the features of the interaction of liquid water crystal with rock cracks, leading to the destruction of the latter is an important task.

**Research aim** is to determine the mechanism of interaction of rock with deep water and the development of physical models of liquid water crystal to determine the role of the latter in the destruction of rocks.

**Research methodologies.** The paper analyzes the current state of problems in determining the mechanism of interaction between deep water and rock. A new approach to the definition of this mechanism is proposed. It is shown that deep water is one of the determining factors of rock destruction.

**Research results.** The physical model of a liquid water crystal consisting of 92 molecules has been constructed. New approach to the determination of interaction between deep water and rock cracks has been proposed.

**Conclusions and scope of the results.** An integrated approach was used to analyze the features of the mechanism of rock interaction with deep water. Mathematical models of the process of filtering water into rock cracks leading to swelling and rupture of the latter have been developed. It is shown that the value of the wedging pressure can reach up to a value of 230 MPa, which is significantly higher than the stability limit of many rocks. The results can be used to predict earthquakes by determining the mechanism of interaction of groundwater with rock microcracks.

**Key words:** crack; rock; deep water; pressure; swelling; intermolecular force.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-56-65

### REFERENCES

- Gabuda S. P. [Fixed water. Facts and hypotheses]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 159 p.
- Pavlov N. N. [Inorganic chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 336 p.
- Breck D. [Zeolite molecular sieves. Transl. from English]. Moscow, Mir Publ., 1976. 782 p.
- Rzaev Ab. G., Rasulov S. R. [Informational foundation of a biological neuron]. *Izvestiya Azerbaidzhanskoi Inzhenernoi Akademii – Bulletin of the Azerbaijan Academy of Engineering*, 2015, vol. 7, no. 1, pp.121–132.
- Crampin S., Gao J., Bukits Y. A review of retrospective stress-forecasts of earthquakes and eruptions. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2015.05.008>
- Rodkin M. V., Tikhonov I. N., 2014. Seismic Regime in the Vicinity of the 2011 Tohoku Mega Earthquake (Japan. Mw – 9). *Pure and Applied Geophysics*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s00024-013-0768-5>.
- Nikolaevskii V. N., Sobisevich L. E. [The nature of bifocal earthquake focus and the precursors of a rock bump]. *Geofizicheskii zhurnal – Geophysical Journal*, 2015, vol. 37, no. 4, pp. 51–74. (In Russ.)
- Traskin V. Iu. [Rehbinder effect in tectonophysics]. *Fizika Zemli – Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2009, no. 11, pp. 952–963. (In Russ.)
- Traskin V. Iu., Skvortsova Z. N. [Rehbinder effect in geodynamic processes]. [Anthology “Fluids and Geodynamics”]. Moscow, Nauka Publ., 2006, pp. 147–164. (In Russ.)
- Rehbinder P. A. [Surface phenomena in dispersed systems. Physical-chemical mechanics. Selected works]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 384 p.
- Murav'ev V. M. [Oil and gas wells production]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 448 p.
- Frolov Iu. G. [The course of colloid chemistry. Surface phenomena and dispersed systems]. Moscow, Khimia Publ., 1989. 464 p.
- Rodkin M. V., Tikhonov I. N. The typical seismic behavior in the vicinity of a large earthquake. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pps.2016.04.001>.
- Rzaev Ab. G., Rasulov S. R., Orudzhev V. V., Abdurakhmanova A. M. [Determination of petrophysical characteristics of geologically inhomogeneous beds]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftiykh i gazovykh mestorozhdenii – Geology, Geophysics and Exploitation of Oil and Gas Fields*, 2017, no. 4, pp. 18–21. (In Russ.)
- Gray G. R., Darley H. C. H. [Composition and properties of drilling and completion fluids. Transl. from English]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 509 p.
- Saushin A. Z., Zhuravlev G. I., Liamina N. F. [Mechanism of interaction between clays and drilling fluid filtrate]. *Neftegazovye tekhnologii – Oil and Gas Technologies*, 2010, no. 6, pp. 3–4. (In Russ.)

17. Reh binder P. A., Venstrem E. K. [The influence of the medium and adsorption layers on yielding of metal]. *Izvestiia AN SSSR. Seriya fizicheskaya – Proceedings of USSR Academy of Sciences. Physical Series*, 1973, no. 4/5, pp. 531–550. (In Russ.)

**Information about authors:**

**Rzaev Abbas Geidar ogly** – Doctor of Engineering Science, Professor, senior researcher, Institute of Control Systems of Azerbaijan National Academy of Sciences. E-mail: abbas\_r@mail.ru

**Rasulov Sakit Rauf ogly** – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Occupational Health and Safety, Azerbaijan State Oil and Industry University. E-mail: rasulovsakit@gmail.com

---

# ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА

---

УДК 550.832.9

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-66-74

## КАРОТАЖ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НА ПРИМЕРЕ ГУСЕВОГОРСКОГО И СЕВЕРО-ТАРАТАШСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**ВДОВИН А. Г.<sup>1</sup>, ИВАНЧЕНКО В. С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт геофизики Уральского отделения РАН  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100)

*Целью работы* является изучение эффекта естественного электромагнитного излучения на различных частотах (45 кГц, 80 кГц, 120 кГц) на Гусевогорском титаномагнетитовом месторождении и Северо-Тараташском железорудном месторождении и выделение наиболее информативного частотного диапазона.

*Актуальность работы* обуславливают впервые проведенные исследования связи естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), измеренного в буровзрывных скважинах Гусевогорского месторождения, с напряженным состоянием горного блока и его трещиноватостью.

*Методология исследования.* Исследования проводились в буровзрывных скважинах Гусевогорского титаномагнетитового месторождения. Они включали первичные поточечные измерения на спуске скважинного прибора, непрерывные измерения при подъеме, а также повторные измерения после технологического подрыва близ расположенного блока. На Северо-Тараташском железорудном месторождении проведены исследования при выполнении одной спуско-подъемной операции. Представленные результаты измерений получены с использованием аппаратуры, разработанной в Институте геофизики УрО РАН.

*Результаты.* Приведены результаты опробования методики поточечного и непрерывного каротажа естественного электромагнитного излучения в скважинах на железорудных месторождениях различного типа. Данные эксперимента изучения зон трещиноватости горных пород, а также выявления тектонических нарушений в околоскважинном пространстве являются отражением практической реализации метода при изучении тектоники рудных полей.

*Выводы.* Проведенные в карьере исследования показали, что распределение уровней ЕЭМИ указывает на возможность обнаружения тектонических нарушений в околоскважинном пространстве по их динамической активности. Анализ результатов каротажа электромагнитной эмиссии, выполненного на разведочной скважине Северо-Тараташского железорудного месторождения, с точки зрения связи зон тектонического нарушения с высокоамплитудными аномалиями ЕЭМИ также позволил объяснить полученные в скважине результаты.

**Ключевые слова:** естественное электромагнитное излучение; железорудное месторождение; трещиноватость.

**Введение.** Горные удары, обвалы, внезапные выбросы и другие виды геодинамических проявлений являются причинами, затрудняющими разработку месторождений полезных ископаемых. Эти процессы порождаются в массивах горных пород действием полей больших механических напряжений, увеличивающихся

с глубиной обработки, а также вследствие структурной неоднородности и нарушенности массива, и определяются свойствами слагающих его горных пород. Динамически активные зоны в толщах пород могут являться причиной катастрофических явлений на поверхности Земли и разрушения крупных техногенно-опасных промышленных объектов. Процесс перерастания микротрещиноватости в макротрещины, в крупные нарушения сплошности, в зоны разломов был и остается одним из ведущих процессов в эволюции Земли, формировании геологических структур и образовании месторождений полезных ископаемых.

На границе разрывов берегов трещин возникают электрические заряды, которые сопровождаются естественным электромагнитным излучением (ЕЭМИ). Известно, что трещина практически никогда не распространяется равномерно, она пульсирует, скорость ее меняется по величине и по направлению, особенно при ветвлении. При этом от поверхности и вершины трещины отходят упругие волны, в результате чего релаксируют напряжения в среде. Этот процесс идет при любом режиме роста трещин. Однако трещина может застопориться у барьера в виде какой-либо неоднородности. Напряжения в ее вершине возрастают и после прорыва импульсно излучаются. Импульсные преобразования происходят и при крутом изменении траектории трещины [1].

В настоящее время при контроле над геодинамической обстановкой применяется мониторинг геофизических полей. В отечественной и зарубежной практике метод исследования электромагнитного излучения (ЭМИ) широко распространен вследствие простоты регистрации сигналов и большого количества разнообразных средств обработки и анализа данных.

Интерес ученых связан в основном с поиском прогностических признаков катастрофических природных явлений (землетрясений, горно-тектонических ударов), с теоретическим возникновением ЕЭМИ и с лабораторными экспериментами. Так, сравнение данных трехлетних наблюдений естественного электромагнитного излучения с подземной (скважина Г-1) и наземной антенной (пункт Карымшино), выполненное коллективом В. А. Гаврилова [2, 3], позволило установить условия приема наиболее важной информации для скважинных и наземных наблюдений (суточный ход электромагнитного излучения, нарушение суточного хода, уменьшение амплитуды суточного хода и снижение фонового уровня естественного электромагнитного излучения перед сильными землетрясениями, наличие корреляции между сигналами). Измерения электромагнитного излучения на частотах 5, 9 и 80 кГц, выполненные в Геофизической обсерватории Витоша (Болгария), показали отклонение интенсивности от нормального суточного изменения перед землетрясением в зоне Вранча [4]. В работах В. Н. Шумана, Ю. А. Богданова и других [5, 6] показана тесная связь измерений электромагнитного излучения в диапазоне частот 2–50 кГц с глубинной структурой геологического разреза. При проведении лабораторных исследований на моделях неоднородных сред, описанных в работе [7], показано, что ЭМИ возникает уже на первых стадиях нагружения, составляющих единицы и первые десятки процентов от разрушающих напряжений. В работе [8] лабораторными экспериментами установлено, что при импульсном акустическом возбуждении амплитудные параметры ЭМИ существенно зависят от проводимости горной породы, и при наличии небольшого процента акцессорных минералов в высокопроводящей породе значительно увеличиваются. На горнорудных предприятиях, шахтах, в лабораторных условиях изучают пространственно-временные закономерности процессов электромагнитного излучения, сопровождающие и предшествующие разрушению горных пород.

Ряд зарубежных ученых рассматривает возникновение ЭМИ в кГц–МГц диапазонах, наблюдающееся от нескольких дней до нескольких часов перед землетрясениями. В работе [9] показано, что электромагнитный импульс возникает при трении двух тектонически нарушенных областей и предшествует землетрясению. В работе [10] указывается, что появление электромагнитного предшественника землетрясения в килогерцевом диапазоне происходит в результате первичных разрушений неровностей.

Для оценки трещиноватости и нарушенности массива проводятся специальные исследования керна, кавернометрия, волновой акустический каротаж, скважинная электроразведка и т. д. Данные методы, как правило, позволяют судить лишь об образовавшихся зонах трещиноватости и нарушенности ствола скважины, но при этом не имеют возможности оценивать активность процессов трещинообразования в этих зонах и отслеживать их динамику.

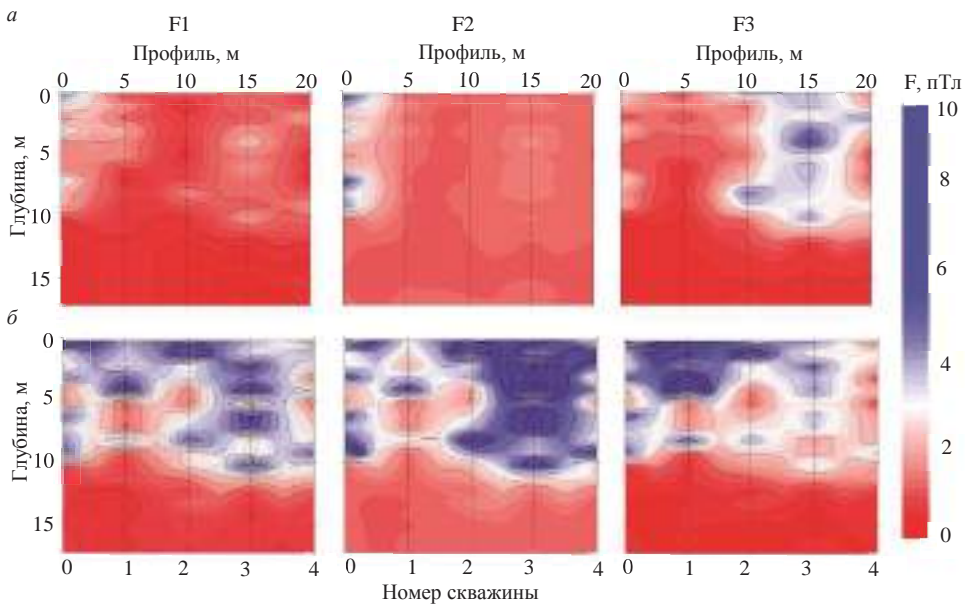


Рис. 1. Результаты измерений ЕЭМИ в скважинах на Гусевогорском титаномагнетитовом месторождении:

*a* – до взрыва; *б* – после взрыва

Fig. 1. The results of measuring NEMR in the wells of Gusevogorskoye titanomagnetite deposit:

*a* – before the explosion; *б* – after the explosion

**Аппаратура и методика измерений.** В институте геофизики УрО РАН разработан программно-аппаратурный комплекс МЭШ-42 [11], позволяющий одновременно и непрерывно производить измерения естественных электромагнитных полей на трех частотах 45 (F1), 80 (F2), 120 (F3) кГц и геоакустической эмиссии (ГАЭ) в частотных диапазонах 100–500, 500–5000 и 2500–5000 Гц. Если на нефтегазовых месторождениях измерения ГАЭ широко применяются для определения характера насыщенности коллекторов на стадии эксплуатации скважин и при контроле за разработкой нефтяных и газовых месторождений, то на рудных месторождениях на сегодняшний день исследования ЕЭМИ имеют лишь научный интерес и применяются на стадии разработки методико-технологической базы для определения и выделения нарушенности горных пород.

Блок ЕЭМИ выполнен по схеме супергетеродинного приемника. В качестве приемной антенны используется измерительное устройство с чувствительным магнитоприемником индукционного типа со стержневым ферритовым сердечником.

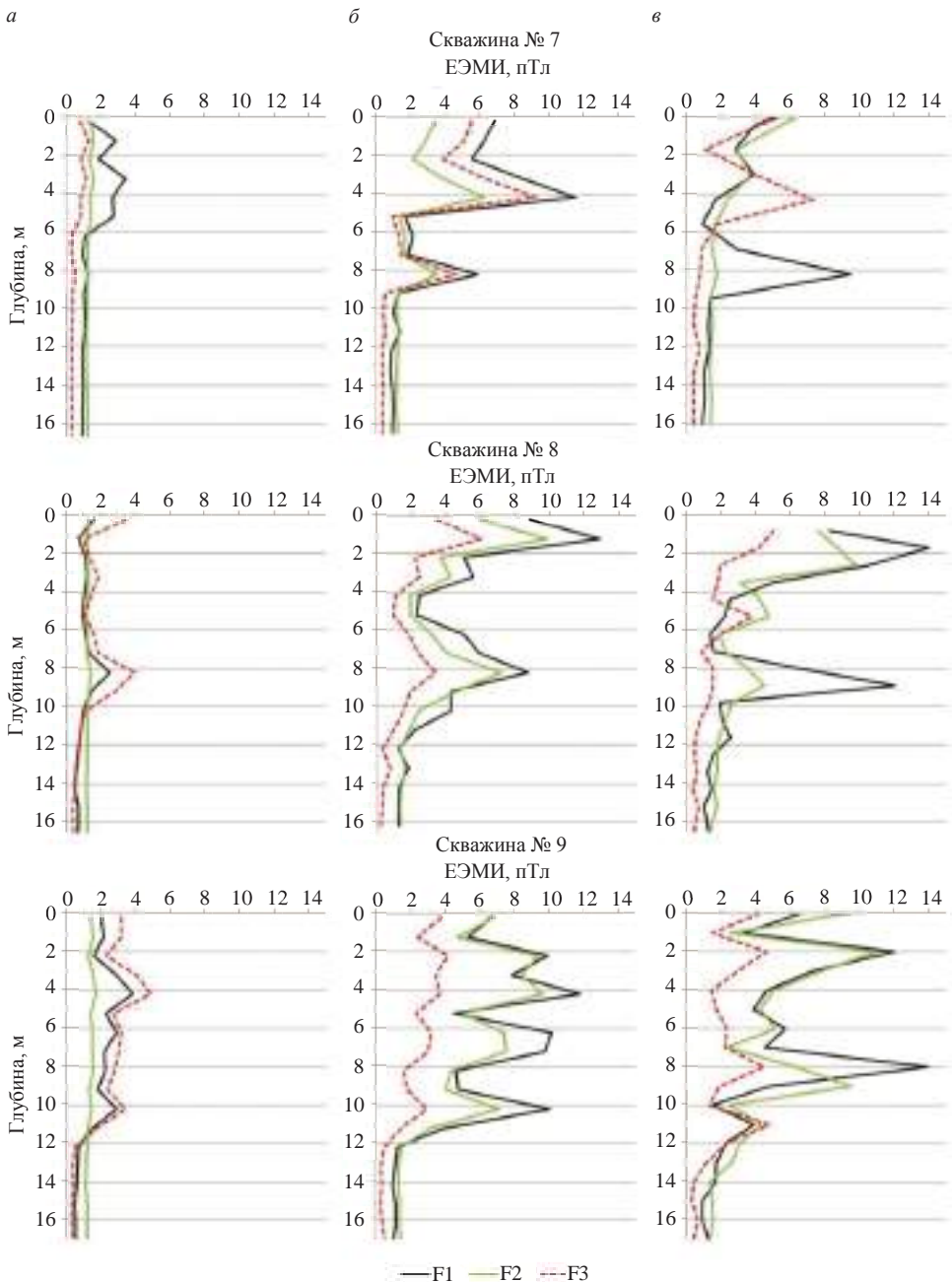


Рис. 2. Результаты ЕЭМИ в скважинах на Гусевогорском титаномagnetитовом месторождении:  
*a* – до взрыва; *б* – после взрыва; *в* – непрерывный каротаж

Fig. 2. The results of NEMR in the wells of Gusevogorskoye titanomagnetite deposit:  
*a* – before the explosion; *б* – after the explosion; *в* – continuous logging

**Результаты исследований.** Исследования проведены в буровзрывных скважинах на разрабатываемом Гусевогорском месторождении Качканарской группы. Гусевогорское месторождение территориально находится в Нижне-Туринском

районе Свердловской области. Промышленное оруденение представлено вкрапленностью титаномагнетита и сосредоточено в нескольких залежах. Добыча полезных ископаемых ведется карьерным способом. Рудные минералы представлены магнетитом и ильменитом.

В районах разработки и добычи полезных ископаемых всегда существует опасность проявления горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений, что неизбежно влечет за собой экономические и человеческие потери. Поэтому проблема оценки степени воздействия природных и техногенных явлений

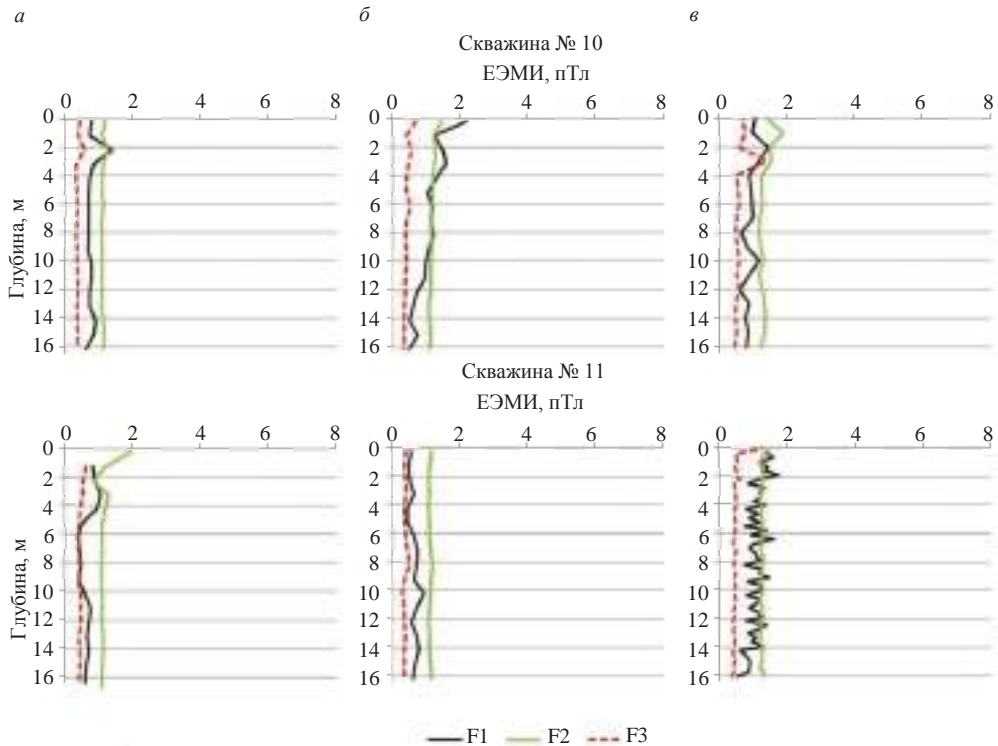


Рис. 3. Результаты ЕЭМИ в скважинах на Гусевогорском титаномагнетитовом месторождении:  
*a* – до взрыва; *б* – после взрыва; *в* – непрерывный каротаж

Fig. 3. The results of NEmR in the wells of Gusevogorskoye titanomagnetite deposit:  
*a* – before the explosion; *б* – after the explosion; *в* – continuous logging

на массив горных пород приобретает особую остроту. Поскольку электромагнитное излучение является чувствительным к микродеформациям, протекающим в геологической среде, проведение измерений в скважине позволяет получать новую информацию о динамике зарождения и развития структурного разрушения пород. Такие измерения представляют определенный интерес при выполнении каротажных работ, имеют практическое значение как при бурении скважин, так и при изучении тектоники месторождений.

Измерения выполнены до проведения взрывных работ в пяти буровзрывных скважинах Главного карьера, находящихся на одном профиле на расстоянии 5 м друг от друга (рис. 1, *a*). В скважине 3, находящейся на расстоянии 15 м от нулевой скважины, выделяется зона с повышенными значениями сигналов F3. Повторные измерения, выполненные через несколько часов после технологического взрыва близлежащего блока (рис 1, *б*), выявили сильную дифференциацию в сигналах ЕЭМИ (амплитудный уровень во всех трех частотных диапазонах увеличился). Анализ дополнительной информации показал, что при подготовке к тех-



нологическим взрывам и закачке взрывчатого вещества в тело скважины возникает проблема его перерасхода вследствие нарушения обрабатываемого блока (повышенная трещиноватость). Данная проблема решается путем использования специальных «рукавов» для закачки взрывчатого вещества, что влечет дополнительные экономические расходы.

Проведенные исследования послужили предпосылкой для разработки экспресс-метода анализа нарушения массива. Так, на первом этапе проводится поточечный каротаж естественного электромагнитного излучения. После спуска снаряда на забой скважины, на подъеме, ведется непрерывный каротаж. По данной методике были выполнены измерения в других буровзрывных блоках, которые, для контроля, включали также измерения после взрыва.

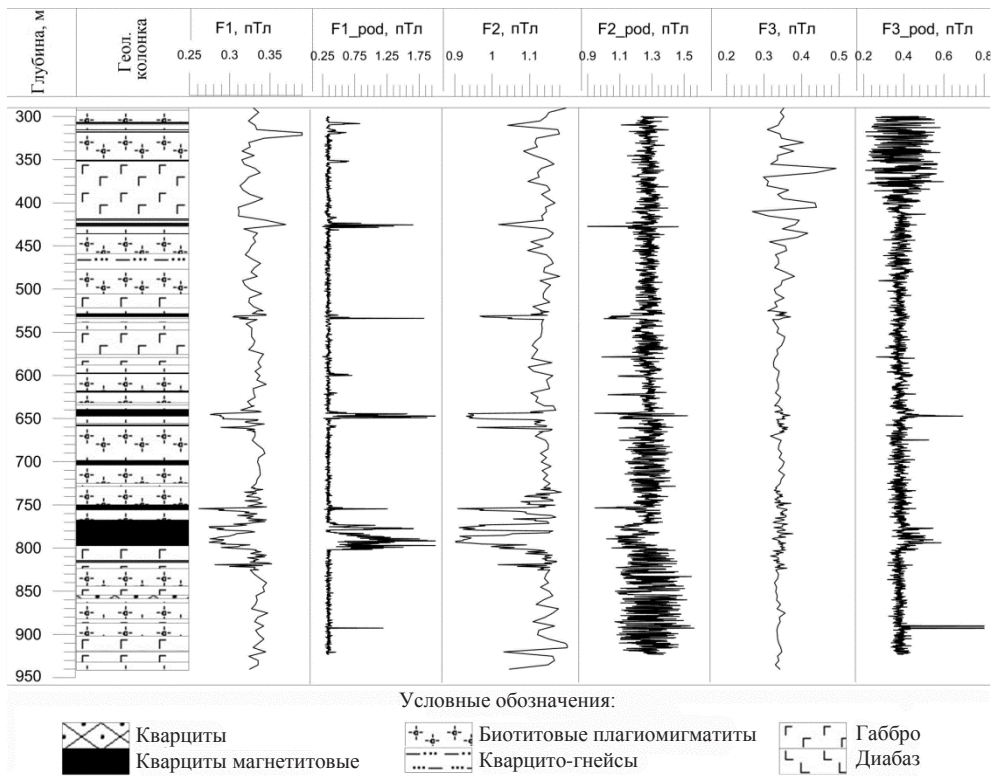


Рис. 4. Сопоставление каротажа ЕЭМИ по точкам (F) и при подъеме (F<sub>pod</sub>)  
 Fig. 4. The comparison of NEMR logging by points (F) and when lifting (F<sub>pod</sub>)

На рис. 2 представлены измерения, выполненные в трех скважинах (скв. 7–9). Первичный поточечный каротаж (рис. 2, а) показал невысокий, близкий к фоновому, уровень сигналов. Измерения, выполненные на подъеме (рис. 2, в), выявили зоны, где уровень сигналов увеличивается до пяти раз. Повторный поточечный каротаж после взрыва (рис. 2, б) показал аналогичную картину, характер изменений интенсивности излучения похожий.

Проведение взрывных работ вызывает большие акустические и механические нагрузки, в результате чего происходит изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород. В плотно консолидированных породах увеличение сигналов ЕЭМИ не происходит, а в тектонически нарушенных зонах происходят процессы перераспределений напряжений, что и отражается на графиках. При проведении непрерывного каротажа при подъеме скважинного снаряда на стенки

скважины накладывается дополнительное механическое воздействие, которое, несмотря на много меньший масштаб по сравнению со взрывными работами, вызывает сопоставимые по амплитуде сигналы в зонах высоких напряжений.

На рис. 3 приведены результаты измерений, выполненных в двух скважинах на другом блоке карьера (скв. 10, 11).

По измеренным значениям можно сделать вывод о том, что исследуемые массивы не имеют в своем составе нарушенных зон, подверженных напряжениям, т. е. массив плотно консолидированный.

На рис. 4 приведены результаты измерений естественного электромагнитного излучения в скважине на Северо-Тараташском железорудном месторождении.

Поточечные измерения показали, что при общем фоновом уровне выделяются участки с низкими показателями естественного электромагнитного излучения на частотах 45 и 80 кГц, соответствующие зонам оруденения. Это объясняется тем, что магнетитовый слой выступает своего рода «экраном» вследствие потери энергии электромагнитного сигнала в проводящей среде. С другой стороны, при проведении непрерывного каротажа описанные интервалы выделяются положительными аномалиями по F1, что говорит о наличии микродефектов в околоскважинном пространстве, возможно, вызванных нарушением сплошности массива горных пород в результате бурения. В интервал 300–400 м на диаграмме на частоте 120 кГц (F3) по поточечным и непрерывным измерениям выделяется высокоамплитудная знакопеременная аномалия. Скважина пробурена вблизи двух известных тектонических нарушений (разломов) земной коры [12]. Измерения геоакустической эмиссии также свидетельствуют о процессах интенсивного трещинообразования в этой зоне.

**Обсуждение результатов и выводы.** При изучении сигналов электромагнитной эмиссии на Гусевогорском железорудном месторождении предполагалось, что титаномагнетитовая руда в силу своей высокой электропроводности будет являться экраном для естественного электромагнитного излучения и основным информативным параметром будут сигналы геоакустической эмиссии (ГАЭ). Однако проведенные в карьере исследования показали, что распределение уровней ЕЭМИ указывает на возможность обнаружения тектонических нарушений в околоскважинном пространстве по их динамической активности. Анализ результатов каротажа электромагнитной эмиссии, выполненного на разведочной скважине Северо-Тараташского железорудного месторождения, с точки зрения связи зон тектонического нарушения с высокоамплитудными аномалиями ЕЭМИ также позволил объяснить полученные в скважине результаты.

Приведенные данные эксперимента изучения зон трещиноватости горных пород, а также выявления тектонических нарушений в околоскважинном пространстве являются отражением практической реализации метода при изучении тектоники рудных полей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дьяконов Б. П., Мартышко П. С., Троянов А. К., Астраханцев Ю. Г., Начапкин Н. И. Выделение периодичностей низкочастотных деформационных процессов в вариациях электромагнитного излучения в Уральской сверхглубокой скважине // Доклады Академии наук. 2010. Т. 430. № 1. С. 105–107.
2. Гаврилов В. А., Власов Ю. А., Морозова Ю. В., Федористов О. В., Яковлева Ю. Ю. Методы и результаты скважинных геоакустических и электромагнитных измерений на Камчатском геодинамическом полигоне // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными: матер. XIV Международ. конф. Ч. 1. Петрозаводск: КарНЦ, 2008. С. 107–108.
3. Гаврилов В. А., Дружин Г. И., Полтавцева Е. В. Результаты одновременных измерений естественных электромагнитных СНЧ-ОНЧ излучений с использованием подземной и наземной антенн // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: сб. докл. IV Международ. науч. конф. Доп. том. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2007. С. 14–19.
4. Ралговски Ц. М., Комаров Л. И. Об электромагнитных предвестниках землетрясений во Вранче 30.08.1986 г. // Известия Академии наук СССР. Физика Земли. 1988. № 11. С. 72–76.

5. Шуман В. Н. Электромагнитные сигналы литосферного происхождения в современных наземных и дистанционных зондирующих системах // Геофизический журнал. 2007. Т. 29. № 2. С. 3–16.

6. Богданов Ю. А., Бондаренко Н. В., Захаров И. Г., Лойко Н. П., Лусин В. В., Черняков А. М., Чертов О. Р. Аппаратурно-методическое обеспечение метода анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли // Геофизический журнал. 2009. Т. 31. № 4. С. 34–43.

7. Шамина О. Г. Об особенностях спектров продольных и поперечных волн // Физика Земли. 2000. № 11. С. 35–39.

8. Беспалько А. А., Яврович Л. В., Федотов П. И. Связь параметров электромагнитных сигналов с электрическими характеристиками горных пород при акустическом и квазистатическом воздействиях // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 7. С. 18–23.

9. Eftaxias K., Contoyiannis Y., Balasis G., Karamanos K., Kopanas J., Antonopoulos G., Koulouras G., and Nomicos C. Evidence of fractional-Brownian-motion-type asperity model for earthquake generation in candidate pre-seismic electromagnetic emissions // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2008. No. 8, P. 657–669.

10. Potirakis S. M., Minadakis G., and Eftaxias K. Relation between seismicity and pre-earthquake electromagnetic emission in terms of energy, information and entropy content // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2012. No. 12, P. 1179–1183.

11. Астраханцев Ю. Г., Белоглазова Н. А., Троянов А. К., Глухих И. И., Вдовин А. Г. Сквжинные исследования динамического состояния горных пород с использованием новой аппаратуры // Уральский геофизический вестник. 2013. № 2 (22). С. 4–12.

12. Антипин А. Н., Баженова Е. А., Вдовин А. Г., Федосов М. А., Хацкевич Б. Д. Результаты комплексирования наземных геофизических методов на Северо-Тараташском участке // Уральский геофизический вестник. 2017. № 2 (30). С. 4–8.

Поступила в редакцию 13 июня 2018 года

**Для цитирования:** Вдовин А. Г., Иванченко В. С. Каротаж естественного электромагнитного излучения на железорудных месторождениях на примере Гусевогорского и Северо-Тараташского месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 66–74.

#### Сведения об авторах:

**Вдовин Алексей Геннадьевич** – научный сотрудник Института геофизики УрО РАН. E-mail: agvd@bk.ru

**Иванченко Виктор Сергеевич** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геофизики УрО РАН. E-mail: ivanченко\_05@mail.ru

### LOGGING OF NATURAL ELECTROMAGNETIC RADIATION IN IRON ORE DEPOSITS BY THE EXAMPLE OF GUSEVOGORSKOYE AND SEVERO-TARATASHSKOYE DEPOSITS

Vdovin A. G.<sup>1</sup>, Ivanchenko V. S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geophysics, UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

**Research aim** is to study the effect of natural electromagnetic radiation at various frequencies (45 kHz, 80 kHz, and 120 kHz) at the Gusevogorskoye titanomagnetite deposit and Severo-Taratashskoye iron ore deposit, and distinguish the most informative frequency range.

**Research relevance** conditions in the first conducted studies of the connection between natural electromagnetic radiation (NEMR), measured in the drilling and blasting wells of the Gusevogorskoye deposit, and the strained state of the rock block and its rock jointing.

**Research methodology.** The research was conducted in drilling and blasting wells of the Gusevogorskoye titanomagnetite deposit. It included primary point-to-point measurements when lowering a sonde, continuous measurements during lifting, and repeated measurements after technological explosion near the located block. At the North Taratashskoye iron ore deposit, investigations were carried out during one run. The presented measurement results were obtained using apparatus developed at the Institute of Geophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

**Results.** The results of testing the technique of point-to-point and continuous logging of natural electromagnetic radiation in wells at iron ore deposits of various types are presented. The data of the experiment on studying the zones of rock jointing, as well as tectonic disturbances detection in the wellbore space, are a reflection of the method practical implementation in the study of the ore field tectonics.

**Conclusions.** Studies carried out in the quarry have shown that the distribution of the NEMR levels indicates the possibility of detecting tectonic disturbances in the wellbore space by their dynamic activity. The electromagnetic emission logging results analysis performed at the exploratory well of the Severo-Taratashskoye iron ore deposit, from the point of view of tectonic disturbance zones tie with NEMR high-amplitude anomalies, also allowed to explain the results obtained in the well.

**Key words:** natural electromagnetic radiation; iron ore deposit; rock jointing.

The research has been carried out with finance support from the project of UB RAS no. 18-5-5-52.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-66-74

#### REFERENCES

1. D'iakonov B. P., Martyshko P. S., Troianov A. K., Astrakhantsev Iu. G., Nachapkin N. I. [Identifying periodicities in low frequency deformational processes in the variations of electromagnetic radiation in the Ural super-deep well]. *Doklady Akademii nauk – Proceeding of the USSR Academy of Sciences*, 2010, vol. 430, no. 1, pp. 105–107. (In Russ.)
2. Gavrilo V. A., Vlasov Iu. A., Morozova Iu. V., Fedoristov O. V., Iakovleva Iu. Iu. [Methods and results of borehole geo-acoustic and electromagnetic measurements at the Kamchatka geodynamic polygon. Proc. 14th Internat. Conf. "Connection between the Surface Structures and Underlying Structures of the Earth's Crust". Pt. 1]. Petrozavodsk, Karelian RC RAS Publ., 2008, pp. 107–108. (In Russ.)
3. Gavrilo V. A., Druzhin G. I., Poltavtseva E. V. [Results of simultaneous measurements of the natural electromagnetic SLF-VLF radiations with the use of subsurface and ground based antennae. Proc. 4th Internat. Sci. Conf. "Solar-Terrestrial Bonds and Earthquake Precursors". Suppl. vol.]. Petropavlovsk-Kamchatsky, IKIR FEB RAS Publ., 2007, pp. 14–19. (In Russ.)
4. Ralgovski Ts. M., Komarov L. I. [Regarding electromagnetic earthquake precursors in Vrancea on 30th August, 1986]. *Izvestiia Akademii nauk SSSR. Fizika Zemli – Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR. Terrestrial Physics*, 1988, no. 11, pp. 72–76. (In Russ.)
5. Shuman V. N. [Electromagnetic signals of lithospheric origin in modern ground based and remote sounding systems]. *Geofizicheskii zhurnal – Geophysical Journal*, 2007, vol. 29, no. 2, pp. 3–16. (In Russ.)
6. Bogdanov Iu. A., Bondarenko N. V., Zakharov I. G., Loiko N. P., Lusin V. V., Cherniakov A. M., Chertov O. R. [Hardware-methodological support of the method of terrestrial spontaneous electromagnetic emission analysis]. *Geofizicheskii zhurnal – Geophysical Journal*, 2009, vol. 31, no. 4, pp. 34–43. (In Russ.)
7. Shamina O. G. [Regarding the features of longitudinal and transverse waves spectra]. *Fizika Zemli – Physics of the Solid Earth*, 2000, no. 11, pp. 35–39. (In Russ.)
8. Bespal'ko A. A., Iavrovich L. V., Fedotov P. I. [Connection between the parameters of electromagnetic signals and electric characteristics of rocks under acoustic and quasi-static impacts]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2005, vol. 308, no. 7, pp. 18–23. (In Russ.)
9. Eftaxias K., Contoyiannis Y., Balasis G., Karamanos K., Kopanas J., Antonopoulos G., Koulouras G., and Nomicos C. Evidence of fractional-Brownian-motion-type asperity model for earthquake generation in candidate pre-seismic electromagnetic emissions. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2008, no. 8, pp. 657–669.
10. Potirakis S. M., Minadakis G., and Eftaxias K. Relation between seismicity and pre-earthquake electromagnetic emission in terms of energy, information and entropy content. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2012, no. 12, pp. 1179–1183.
11. Astrakhantsev Iu. G., Beloglazova N. A., Troianov A. K., Glukhikh I. I., Vdovin A. G. [Borehole investigations of the dynamic state of rocks using new equipment]. *Ural'skii geofizicheskii vestnik – Ural Geophysical Bulletin*, 2013, no. 2 (22), pp. 4–12. (In Russ.)
12. Antipin A. N., Bazhenova E. A., Vdovin A. G., Fedosov M. A., Khatskevich B. D. [The results of integration of the ground based geophysical methods at the North-Taratash section]. *Ural'skii geofizicheskii vestnik – Ural Geophysical Bulletin*, 2017, no. 2 (30), pp. 4–8. (In Russ.)

#### Information about authors:

**Vdovin Aleksei Gennad'evich** – researcher of the Institute of Geophysics, Ural Branch of RAS. E-mail: agvd@bk.ru

**Ivanchenko Viktor Sergeevich** – Candidate of Geological-Mineralogical Science, senior researcher of the Institute of Geophysics, Ural Branch of RAS. E-mail: ivanchenko\_05@mail.ru

## THE IMPACT OF A MAGNETIC FIELD ON THE WEAR OF THE GRINDING BODIES, LINING, AND ORE DISINTEGRATION

KHOPUNOV E. A.<sup>1</sup>, SHATAILOV Iu. L.<sup>2</sup>, VORONCHIKHIN S. L., SHATAILOV A. Iu.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Consulting and Analytical Centre "Russian Standard"

(104, Khokhriakova Str., Ekaterinburg, Russia)

<sup>2</sup> Science and Production Project Center "Uralsmekhanobr-Engineering"

(195, Moskovskaia Str., Ekaterinburg, Russia)

*Research aims* to analyze the effects of a magnetic field on ore disintegration processes: the improvement of mineral disclosure selectivity when grinding iron ore and wear reduction of the grinding bodies and lining.

*Research methodology.* The study of a magnetic field topography and parameters, depending on the position and the characteristics of magnets embedded into the lifter bars. Full-scale modeling of a magnetic field topography has confirmed the possibility of implementing physical preconditions for the creation of a magnetic field in the space between the lifter bars.

*The analysis results* have shown that the physical models reflect the impact of the magnetic field, disintegration indicators, and the grinding bodies wear reduction in a grinding mill adequately. It has been stated, that in the variety of engineering solutions for the creation of a magnetic field in the ball charge, embedding magnets into the lifter bars of a lifter-bar lining is the easiest variant. The variant of the lifter bar lining has been suggested, which makes it possible to create the induced magnetic field in a zone of contact between the grinding bodies and the lifter bars and between the grinding bodies.

*Research results are to be applied* in the processes of ore grinding in ball mills. Some schemes of embedding constant magnets into the lifter bars have been suggested allowing to solve the assigned task of wear reduction of the grinding bodies. It has been shown, that such traditional economic indicators as the net present value (NPV), the internal rate of return (IRR), the profitability index (PI), and a simple and discounted payback periods ensure the effectiveness of an investment project as early as one set of magnet lifter bars realization.

**Key words:** disintegration; magnetic field; wear; grinding bodies; lifter bar.

**The impact of the magnetic field on the processes of ore disintegration in ball mills.** The analysis of the magnetic field impact on the processes of ore disintegration has revealed the following effects: the improvement of mineral disclosure selectivity when grinding iron ore and wear reduction of the grinding bodies and lining. The physical model of iron ore breaking in a magnetic field can be presented in the following way. Induced by the external magnetic field, grinding bodies magnetization causes the appearance of a magnetic force  $F_M = M_q \text{grad}H \approx d^3$  which "draws in" the particles containing magnetic minerals into the zone of grinding bodies contact, where  $H$  – magnetic field intensity, A/m;  $M_q$  – magnetic moment of particles, A · m<sup>2</sup>;  $d$  – particle size, m. As the result of such interaction, mainly the fragments requiring disclosure and concentrating in the space between the balls are collected in the zone of breaking. In addition to the magnetic forces, the particles sustain the resistance force of the disintegrated medium  $F_c \approx (dV_{cp})^n$ ,  $n = 1-2$ , the parameter which is dependent on the size of particles  $d$ , m, and their displacement velocity  $V_{cp}$ , m/s. Under the action of the indicated forces, mainly large particles possessing higher magnetic moment  $M_q$ ,

i. e. clusters or large particles of a magnetic mineral, get into the zone of grinding bodies contact. Minor disclosed particles of an ore mineral and the non-magnetic particles either do not break up or slightly break up at random. Selective breaking (being selective in relation to the fragments containing magnetic mineral) becomes possible due to two competitive forces: magnetic attraction and an opposing resistance force of the moving medium (pulp and ball charge). The indicated interaction creates the preconditions for selective (in relation to the size and magnetic properties) breaking of the components containing magnetic minerals. Comparative tests over some varieties of iron ore have revealed the influence of pulp density, the modes of the material unloading (mill discharge level), magnetic field parameters in the ball charge, and the characteristics of the disintegrated material. The results of the technological experiments (within the continuous cycle with a magnetic separator) have confirmed the selective character of magnetic field impact: the indicators of mineral disclosure are improved and grinding productivity is increased by 1.4–2.8 times (depending on the grain size of the disintegrated material). The increase in the mass fraction of iron in the concentrate under its significant reduction in tailings (in some cases up to 4–6%), increased output of the concentrate, and the increase in the level of magnetite disclosure selectivity by 38.3–90.8% (according to the data of mineralogical investigations) also testify to the selectivity of magnetic field impact on grinding indicators [1].

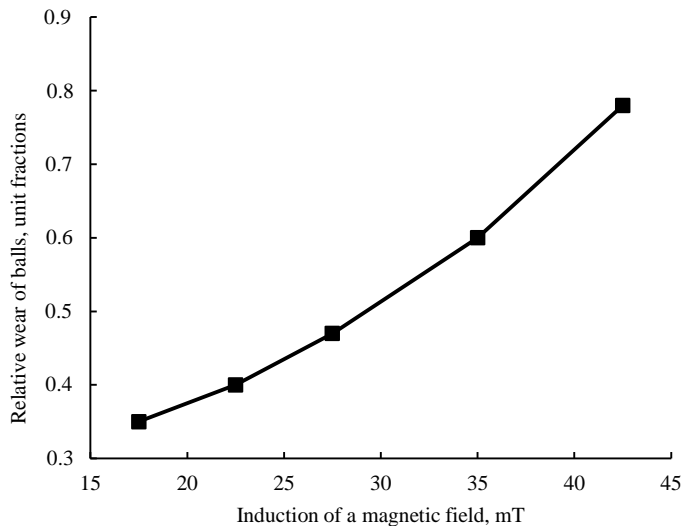


Fig. 1. The dependence between the relative reduction of wear of balls and induction of a magnetic field in a mill

Рис. 1. Зависимость относительного снижения износа шаров от индукции магнитного поля в мельнице

In the course of the indicated research the study of the influence of a magnetic field on grinding bodies wear under various parameters of a magnetic field have been carried out. Laboratory studies of grinding bodies wear in a mill with a magnetic field have shown the reduction of wear by 15–50% depending on the stage of grinding and the type of ore. Fig. 1 reveals the dependence between the relative decrease of balls wear and magnetic field induction. However, the proven effectiveness of magnetic fields impact on ore grinding processes haven't led to the discovery of new equipment mainly for the lack of any simple and reliable engineering solutions for the creation of a magnetic field of the necessary topography and required induction in a mill's grinding space.

Another example of magnetic fields application in ball mills is a rubber-magnetic lining of *Skega Orebed*<sup>®</sup> type developed to improve the productivity of mills, primarily

for the second and third stages [2]. In general, lining represents bars made of abrasion-resistant rubber with embedded constant magnets which ensure boltless fastening of lining on the surface of a drum. Besides, open magnetic stray fluxes create magnetic forces attracting magnetic particles formed by the scrap of the grinding bodies and magnetic minerals to the external surface of lining. The created “ore bed” protects rubber lining from wear. In the linings of a similar nature, stray magnetic field of the embedded magnets almost completely closes through the mill’s drum and the “ore bed”. On the external surface of the “ore bed” magnetic forces weaken and stop keeping magnetic particles, which limits the thickness of a bed and ensures its renewal. At the same time, the given factor almost completely excludes the possibility of grinding bodies magnetization and the creation of a magnetic field with the necessary parameters between the balls. Operation experience of rubber-magnetic linings similar to *Orebed*<sup>TM</sup> bars has confirmed the increase of their service life as compared to the metallic lining [2, 3]. Despite the costs for the re-lining of rubber-magnetic elements are almost 2–3 times lower than for the lining with bolt fastening, low frequency of operations on the replacement of the abrasive-resistant lining (once in 3–5 years) eliminates the significance of the given effect for the investor. As the analysis has shown, more significant effect of magnetic field impact in relation to investments is the reduction of grinding bodies wear and the increased intensity of the processes of disintegrating ore which contains magnetic minerals. Positive results of magnetic field impact make the search for the solutions allowing to fulfill several tasks in an integrated manner relevant: to reduce the wear of lining and the grinding bodies, and improve mineral disclosure effectiveness by means of magnetic field impact on disintegration processes.

#### **The substantiation of the lifter bar structures with embedded magnets.**

According to the main provisions of tribology, the intensity of the surface wear at grinding is in many ways determined by the sliding velocity of the contacting bodies, the value of the materials specific pressure on the lining, and friction between the medium and the lining [4–8]. Thus, in order to reduce wear it is necessary to reduce or eliminate the sliding movement of the ball charge towards lining, reduce contact pressure and the coefficient of friction. It should be noted, that sliding value reduction leads to specific energy consumption reduction, because sliding of the ball charge against the drum causes the need in the increase in its rotation speed by the amount of slippage, and the increase in the power consumption. Pressure can be reduced by means of increasing the contact area by virtue of the formed “soft lining” with simultaneous decrease in the coefficient of friction between the lining and the balls. The role of lubricant in this case is performed by a suspension of finely powdered fractions of magnetic minerals and scrap. Magnetic field induced by the grinding bodies concentrates magnetic particles (scrap, magnetic minerals, etc.) in the zone of balls contacts; the magnetic particles perform protective function and reduce balls wear. To the fullest extent, this effect is manifests during iron ore grinding [1]. Frame-by-frame analysis of balls movement dynamics in a mill with the superimposed magnetic field has shown that near the surface of a drum the balls move almost without mutual slippage. The corresponding arrangement of magnets keeps the balls in the space between the lifter bars owing to magnetic interaction and prevents slippage.

The basis for the suggested engineering solution is formed by the interaction of magnetic materials with an external magnetic field. Physical precondition for the given task fulfillment is multiple increase in magnetic field induction between the balls and in the zone of balls contact with the surface of a lifter bar with an embedded magnet. In the case under consideration, the grinding bodies themselves serve as magnetic flux concentrators, creating a magnetic field of high intensity with a high gradient in the clearance between the balls. For example, if in the absence of the balls magnetic field induction on the surface of a lifter bar is 0.038 T, then between the balls it increases up

to 0.38 T and more. The upper limit of magnetic field induction on the surface of a lifter bar is limited by the condition of prevention of the true contact between the ball charge and lining and is determined by the ration of the ball's gravity force in the separation point and the attraction force of magnetic material in inhomogeneous magnetic field:  $F = M \text{grad}H = \mu\mu_0 V H \text{grad}H$ , where  $M$  – magnetic moment of magnetic material;  $\text{grad}H$  – gradient of magnetic field intensity;  $V$  – magnetic material volume (ball, scrap or ore magnetic particle),  $\text{m}^3$ ;  $\mu, \mu_0$  – magnetic permeability of magnetic material and vacuum,  $\text{N/A}^2$ . Magnetic field parameters can be chosen out of the following condition depending on the type of a mill

$$(2\pi n)^2 Rm + \mu\mu_0 V H \text{grad}H > P \cos\varphi, \quad (1)$$

where  $P$  – ball's gravity force, N;  $\varphi$  – ball's separation angle, degrees;  $R$  – drum's radius, m;  $n$  – rotational speed, r/min;  $m$  – balls' mass, t.

The indicated condition for the mills of the second and third stage of grinding (with a diameter of approximately 3–4 m) can be met under the use of the magnets with induction 0.38–0.40 T under the design thickness of a rubber layer of a lifter bar.

The solution to the stated task reduces to the search for the ways of inducing magnetic field in a zone of balls interaction with the lining and the disintegrated material, for example, by means of embedding constant magnets into the lifter bars of a ball mill. The corresponding choice of magnetic field intensity gradient and induction value (on the surface of a lifter bar) is able to create the conditions under which the layer of balls will protect the lifter bars and lining from abrasive wear caused by grinding bodies slippage against the lining and the lifter bars. The suggested structure of lifter lining allows to create an induced magnetic field between the grinding bodies and the lifter bars in a relatively simple way. The lifter bars are usually made of polymeric materials, rubber, for example, however, in the solutions under consideration the use of bonded magnets is possible as the material for the lifter bar or for various magnetic insertions. Engineering implementation of the lifter bars with the embedded magnets in the lifter-bar lining depends on the type of a mill, disintegrated ore, and the stage of disintegration. Embedding constant magnets into the operating lifter bars as embedded elements in the existing press molds is the most structurally simple solution to the given task. However, these simple solutions do not exclude the creation of completely different structures of lifter bars which generate magnetic flux in the ball charge in the optimal way. Structural arrangement of magnets in the lifter bar is chosen with the account of the fact that the force of interaction is determined not only by the magnetic field intensity sufficient to induce the magnetization of balls and other particles, but also by the size of its gradient.

The advantage of the lifter bars structure with the embedded magnets is grinding bodies, lifter bars, and lining wear reduction, which is achieved by creating a magnetic field in the space between the balls and a gradient of a magnetic field on the surface of the lifter bars, which prevents slippage of the ball charge contacting the lining. The technical aspects of the given structure development reduce to the choice of an arrangement scheme of magnets in the lifter bars, the creation of maximum magnetic field gradient in the space between the magnets, and provision with the desired value of magnetic field induction on the surface of the lifter bars. As soon as magnetic field in the system *lifter bar–ball charge–lining plate* is a protective factor for the lifter bars and grinding bodies from wear, it is necessary to be aware of the topography of balls induced magnetic field at their entering the zone of magnetic flux impact between the lifter bars. Physical modelling of the magnetic field topography has confirmed the possibility to implement the conditions mentioned above to create a magnetic field in the space between the lifter bars. In the course of the research, some variants of magnets



structural arrangement in the lifter bar have been considered. The topography of magnetic field induction for a model of two lifter bars at a distance of 210 mm from each other (which is compared to their arrangement in a mill) is introduced at fig. 2. Flat barium ferrite magnets ( $80 \times 60 \times 14$  mm) with induction on the surface 30–60 mT were used as magnets; at end surfaces induction was 100–110 mT. For ease of induction measuring, in one plane grinding bodies were fashioned with 42 mm diameter disks. Magnetic induction in the simulated space is marked by the numbers near the extension line. It should be noted that the higher gradient of induction in the space *ball–plane* is 2.5–4 times higher than the gradient of induction in the space between the planes of magnets, which provides conditions for the implementation of the desired forces of interaction between the balls and other magnetic materials in the space between the balls. This circumstance is an important factor for balls wear reduction by means of lubricant producing out of the fine particles of the magnetic material. The measurement have shown that induction of magnetic field between the balls can reach 240–250 mT under field induction on the surface of the magnet being about 30 mT.

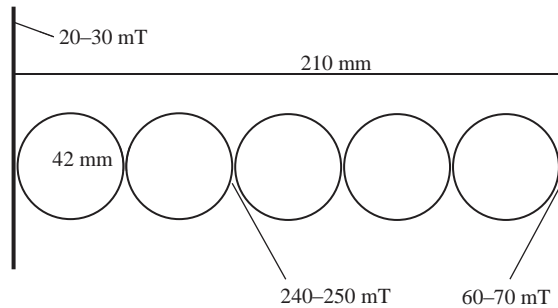


Fig. 2. The arrangement of the grinding bodies between the lifter bars

Рис. 2. Расположение мелющих тел между лифтерами

To protect the lifter bar from wear according to condition (1) it is necessary to create magnetic field induction in the zone of ball charge action, sufficient for the magnetization of balls, magnetic minerals aggregates, scrap, and other magnetic materials in a mill. At the same time, there is the task of protecting ceramic magnets from breaking by means of creating a protection layer. The choice of thickness of the lifter bar layer above the magnet is conditioned by the need for its protection and the creation of the induction on the surface of a lifter bar sufficient for the magnetization of balls (and other magnetic materials). Optimum thickness of a protective layer is chosen on the basis of the dependence between magnetic field induction and the distance above the magnet. Experimental estimation of magnetic field induction variation with the growth of the distance  $x$  from the surface of the magnet allowed to describe the given dependence using the equation  $B(x) = 9.97 + 63.8/[1+0.62\exp(0.067x)]$ , the coefficient of determination is  $R^2 > 0.99$ .

When constructing the magnetic system embedded into the lifter bars, it is important to use any possibilities to increase induction and gradient of a magnetic field, for example, arrange magnets at a magnetically conductive metal plate. Estimations show, that induction on the surface of the magnets situated on the magnetically conductive metal plate are by 30–40% higher than without it, and the gradient of magnetic induction in the space between the magnets on the metal plate increases by several times.

Applications of magnets in typical structures of the lifter bars are introduced at fig. 3 (at one lifter bar the two variants of embedding the magnets are presented). The principles of magnets embedding and arrangement are the same for both typical

and newly developed lifter bars. Variant 1 at fig. 3 with a trapezoidal-shaped fixing plug allows to use, for example, magnetoelastic material to increase induction of a magnetic field as compared to a rubber plug and to use materials with physical-mechanical characteristics which reduce wear and impact load on a magnet [9–12]. The size and the type of constant magnets are determined by the structure of a lifter bar and the system of its interface with a rubber lining plate.

In modern practice, two groups of ferrite magnets are used as constant magnets: Nd–Fe–B-based and Ba–Sr-based. As long as Ba–Sr magnets are almost by an order of

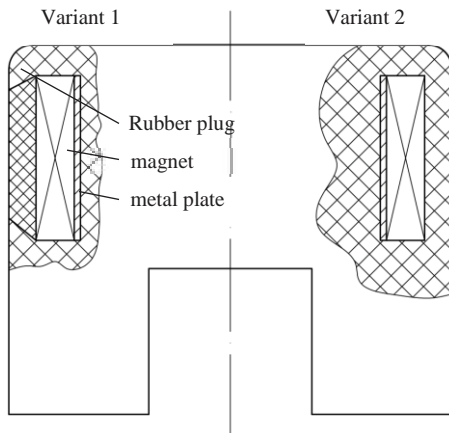


Fig. 3. The variants of embedding magnets into the lifter bar

Рис. 3. Варианты встраивания магнитов в лифтер

magnitude cheaper than niobium magnets, the choice of the structures and the type of magnets embedded into the lifter bar is determined by the ratio between engineering and economic indicators. Magnets based on barium and strontium oxides have become widely used due to their cheap price and possibility to be applied at temperatures up to +280 °C. Magnets based on Nd–Fe–B have got high values of residual induction around 0.7–1.3 T, and coercive force by magnetization within the limits of 1–2 MA/m. Thus, the creation of the lifter bars with magnetic induction on the external surface of 100–150 mT (without the ball charge) does not cause any engineering problems.

**Results analysis.** The lining developers have to take into account a number of factors: operational characteristics, service life, price and costs ratio, maintenance simplicity and frequency, current market prices, etc. The effectiveness of the innovative solution is determined according to the traditional criteria of investment projects: the net present value (NPV), the internal rate of return (IRR), the profitability index (PI), and a simple and discounted payback periods. Results analysis shows that basic investment indicators: NPV – RUB3704.3 thousand, IRR – 60,4%, PI – 2,2, and 18 months payback period are thoroughly acceptable for such projects. It should be noted, that given estimations have been derived from the calculation of one set realization: investment in one set is RUB3000 thousand at sales revenue of RUB2500 thousand and 15% discounting rate. Increased quantity of sets significantly reduces the payback period: investment for the second set of lining is repaid almost at once, as long as basic expenses have been entered at the realization of the first set. The given indicators have been obtained under minimum balls wear reduction (less than 5%), which reduces the risks of the initial stage of investment. At grinding bodies wear reduction up to 10–50% (actually received on trials) the indicators of investment project effectiveness increase. The account of revenue from mills productivity increase by means of reducing downtime for lifter bars and lining replacement, as well as the account of improving indices of iron ore disintegration will also allow to improve the effectiveness of the suggested solution.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khopunov E. A. [The fundamentals of ore and technogenic materials disintegration]. Moscow, RUSAINS Publ., 2016. 474 p.
2. Andreev E. E., L'vov V. V., Fadina A. F. [Experience in the use of metallomagnetic linings]. *Zapiski Gornogo instituta – Journal of Mining Institute*, 2013, vol. 202, pp. 137–140. (In Russ.)
3. Metso Minerals (Wear Protection) Mill Lining Solutions: mill linings, mill trommels and trunnion linings. Available at: [http://www.metso.com/miningandconstruction/mm\\_wear.nsf/](http://www.metso.com/miningandconstruction/mm_wear.nsf/) (Access date 22nd May, 2018)

4. Kragel'skii I. V. [Friction and wear]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 480 p.
5. Chizhik E. F. [Ore grinding trammels with rubber lining]. Barnaul, 2005. 360 p.
6. Sayadi A. R., Khalesi M. R., Borji M. K. A parametric cost model for mineral grinding mills. *Miner Eng.*, 2014, no. 55, pp. 96–102.
7. Jankovic A., Wills T., Dikmen S. A comparison of wear rates of ball mill grinding media. *Journal of Mining and Metallurgy*, 2016, no. 52 A (1), pp. 1–10.
8. Vermeulen L. A., Howat D. D. Abrasive and impactive wear of grinding balls in rotary mills. *J. S. Af. Inst. Min. Metal*, 1986, vol. 86, no. 4, pp. 113–124.
9. Alekseev A. G., Kornev A. E. [Magnetic elastomers]. Moscow, Khimia Publ., 1987. 240 p.
10. Mitin A. V., Tarasov V. A., Doronin V. N., Nazipov R. A. [Magnetic nanostructured polymer composite materials]. *Fizika tverdogo tela – Solid State Physics*, 2011, vol. 53, issue 12, pp. 2336–2339. (In Russ.)
11. Borcea L., Bruno O. On the magneto-elastic properties of elastomer-ferromagnet composites. *Journal of Mechanics and Physics of Solids*, 2001, vol. 49, no. 12, pp. 2877–2919.
12. Farshad M., Benine A. Magnetoactive elastomer composites. *Polymer Testing*, 2004, vol. 23, no. 3, pp. 347–353.

Received 3rd June, 2018

**For citation:** Khopunov E. A., Shatailov Iu. L., Voronchikhin S. L., Shatailov A. Iu. The impact of a magnetic field on the wear of the grinding bodies, lining, and ore disintegration. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2018. No. 8. Pp. 75–82.

#### Information about authors:

**Khopunov Eduard Afanas'evich** – Doctor of Engineering Science, science advisor of Consulting and Analytical Centre “Russian Standard”. E-mail: hopunov@gmail.com  
**Shatailov Iurii Leonidovich** – Candidate of Engineering Science, Senior Researcher, leading researcher of Science and Production Project Center “Uralmekhanobr-Engineering”. E-mail: ruda96@yandex.ru  
**Voronchikhin Sergei Leonidovich** – E-mail: voron161150@yandex.ru  
**Shatailov Aleksandr Iur'evich** – senior researcher of OOO Science and Production Project Center “Uralmekhanobr-Engineering”. E-mail: rudopodgotovka@yandex.ru

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИЗНОС МЕЛЮЩИХ ТЕЛ, ФУТЕРОВКИ И ДЕЗИНТЕГРАЦИЮ РУД

Хопунов Э. А.<sup>1</sup>, Шатайлов Ю. Л.<sup>2</sup>, Ворончихин С. Л., Шатайлов А. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЗАО Консультационно-аналитический центр «Российский стандарт», Екатеринбург, Россия.

<sup>2</sup> ООО НПЦ «Уралмеханобр-Инжиниринг», Екатеринбург, Россия.

**Цель работы.** Анализ эффектов воздействия магнитного поля на процессы дезинтеграции руд: увеличение селективности раскрытия минералов при измельчении железных руд, снижение износа мелющих тел и футеровки.

**Методология исследования.** Изучение топографии магнитного поля и его параметров в зависимости от расположения и характеристик магнитов, встраиваемых в лифтеры. Натурное моделирование топографии магнитного поля подтвердило возможность реализации физических предпосылок для создания магнитного поля в пространстве между лифтерами.

**Результаты анализа** показали, что физические модели адекватно отражают влияние магнитного поля на показатели дезинтеграции и снижение износа мелющих тел в мельнице. Установлено, что среди различных вариантов инженерных решений для создания магнитного поля в шаровой загрузке наиболее простыми является встраивание постоянных магнитов в лифтеры плиточно-лифтерной футеровки. Предложен вариант плиточно-лифтерной футеровки, позволяющий создать индуцированное магнитное поле в зоне контакта мелющих тел с лифтерами и между мелющими телами.

**Область применения результатов исследований** являются процессы измельчения руд в шаровых мельницах. Предложено несколько схем встраивания постоянных магнитов в лифтеры, позволяющих решить поставленную задачу снижения износа мелющих тел. Показано, что традиционные экономические показатели: чистый дисконтированный доход (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), индекс доходности (PI), простой срок окупаемости и дисконтированный срок окупаемости – обеспечивают эффективность инвестиционного проекта уже при реализации одного комплекта магнитных лифтеров.

**Ключевые слова:** дезинтеграция; магнитное поле; износ; мелющие тела; лифтер.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хопунов Э. А. Основы дезинтеграции руд и техногенных материалов. М.: РУСАЙНС, 2016. 474 с.
2. Андреев Е. Е., Львов В. В., Фади́на А. Ф. Опыт применения металломагнитных футеровок // Записки Горного института. 2013. Т. 202. С. 137–140.
3. Проспект Metso Minerals (Wear Protection) Mill Lining Solutions: мельничные футеровки, мельничные барабанные грохоты и футеровки цапф. URL: [http://www.metso.com/miningandconstruction/mm\\_wear.nsf/](http://www.metso.com/miningandconstruction/mm_wear.nsf/) (дата обращения 22.05.2018 г.)
4. Крагельский И. В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
5. Чижик Е. Ф. Барабанные рудоизмельчительные мельницы с резиновой футеровкой. Барнаул, 2005. 360 с.
6. Sayadi A. R., Khalesi M. R., Borji M. K. A parametric cost model for mineral grinding mills // Miner Eng. 2014. No. 55. P. 96–102.
7. Jankovic A., Wills T., Dikmen S. A comparison of wear rates of baal mill grinding media // Journal of Mining and Metallurgy. 2016. No. 52 A (1). P. 1–10.
8. Vermeulen L. A., Howat D. D. Abrasive and impactive wear of grinding balls in rotary mills // J. S. Af. Inst. Min. Metal. 1986. Vol. 86. No. 4. P. 113–124.
9. Алексеев А. Г., Корнев А. Е. Магнитные эластомеры. М.: Химия, 1987. 240 с.
10. Митин А. В., Тарасов В. А., Доронин В. Н., Назипов Р. А. Магнитные наноструктурированные полимерные композиты // Физика твердого тела. 2011. Том 53. Вып. 12. С. 2336–2339.
11. Borcea L., Bruno O. On the magneto-elastic properties of elastomer-ferromagnet composites // Journal of Mechanics and Physics of Solids. 2001. Vol. 49. No. 12. P. 2877–2919.
12. Farshad M., Benine A. Magnetoactive elastomer composites // Polymer Testing. 2004. Vol. 23. No. 3. P. 347–353.

## Сведения об авторах:

**Хопунов Эдуард Афанасьевич** – доктор технических наук, научный консультант ЗАО «Консультационно-аналитического центра «Российский стандарт». E-mail: [hopunov@gmail.com](mailto:hopunov@gmail.com)

**Шатайлов Юрий Леонидович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ООО НППЦ «Уралмеханобр-Инжиниринг». E-mail: [ruda96@yandex.ru](mailto:ruda96@yandex.ru)

**Ворончихин Сергей Леонидович** – E-mail: [voron161150@yandex.ru](mailto:voron161150@yandex.ru)

**Шатайлов Александр Юрьевич** – старший научный сотрудник ООО НППЦ «Уралмеханобр-Инжиниринг». E-mail: [rudopodgotovka@yandex.ru](mailto:rudopodgotovka@yandex.ru)

---

## SYNERGY FORMATION MANAGEMENT FOR INNOVATIONS AT AN ENTERPRISE

GALKINA N. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Mining Industry Efficiency and Safety  
(30, Entuziastov Str., Chelyabinsk, Russia)

**Research relevance** is conditioned on the need to improve the efficiency of personnel interaction within innovations aimed at competitive growth of an enterprise.

**Research aims** to substantiate the need to use the synergetic approach in order to improve the efficiency of personnel interaction within innovations.

**Research methodology.** Synergetic approach has been used, where the expected synergetic effect from the interaction of enterprise subjects within innovations is reached through their capability of self-organization.

**Results.** It has been stated, that the efficiency of synergy formation management for innovations at an enterprise can be reached through self-organization of enterprise subjects in workflow and innovative processes. In order to reduce the risk of negative synergetic effect, the elements of synergy formation management for innovations with regard to a mining enterprise have been distinguished, including the subjects capability of self-organization being an advantage allowing to achieve synergetic effects in all types of activities. Dependence between the subjects capability of self-organization and their innovative abilities and opportunities has been shown. A model of synergy formation management for innovations at an enterprise has been developed.

**Results application.** An example of synergy formation management for technological innovation at a drilling site of a mining enterprise has been given.

**Key words:** enterprise; enterprise subjects; innovation; interaction; synergy; synergetic effect; self-organization; capability of self-organization; resources; innovative abilities; management model.

**Research relevance** is conditioned on the fact, that one of the conditions of an enterprise's survival in the external environment is its competitiveness; it is achieved by innovations ensured by the corresponding synergy.

**Innovations.** Innovation at an enterprise is a special purposeful change in the spheres of technology, production, organization of manufacture and labour, control over the relations and connections of enterprise subjects (ES), which contributes to the development, growth, and efficiency improvement of the manufacture and occupational safety; it is characterized by the growth of knowledge, possesses the features of novelty, and manifests itself in significant positive social-economic effects.

Innovation is a means of moving to a brand new level, new condition.

Classification of innovations [1, 2]:

- according to the sphere of application at an enterprise the innovations are subdivided into technical, technological, social, and institutional;
- according to the range of changes – integrated and local;
- according to the coverage of manufacture – fulfilled at all the stages of manufacture, at particular production sites, in unit operations.

The implementation of the innovation is connected to the formation of social-economic systems consisting of a wide range of elements which interact in a complicated

way to achieve the goal of the innovation. The coordination between the elements of the system is reflected in the behavior of the system as a whole. Therefore, the appearance of a synergetic effect is possible as an excess of components collective interaction results over the amount of their individual actions [3].

**Synergy.** The word synergy (from the Greek word *sinergeia*) denotes collaboration, interaction, participation, and mutual action [4]. Synergy in economics means performance enhancement as a result of combination, connection, integration, and fusion of separate parts into a single system by means of so-called emergence and new properties that the acquired system gets [5, 6].

Synergism (synergy) is a strategic advantage of an enterprise as a social-economic system, which occurs in case all the enterprise subjects are capable of self-organization. Self-organization is a process of elements ordering by means of some internal factors, without any external impact [6, 7].

It is the most general definition of the notion of *self-organization* which can be applied to synergy formation management for innovations at an enterprise. In management, self-organization is considered as a method of coordinated vision of the components of managerial decisions-making (MD) process providing particular order within structural (decision tree) and functional (management functions and manufacturing functions) self-organization [7, 8].

**Table 1. The elements of synergy formation management for innovations at a mining enterprise**

**Таблица 1. Элементы управления формированием синергии для инноваций на горнодобывающем предприятии**

Field	Enterprise subjects (ES)	The object of interaction	The subject of interaction	Synergy criteria	Synergetic effect
manufacturing	Workshop supervisors, production floor supervisors, technicians, foremen, workers	Local innovations	Development and realization of resources provision plans for local innovations	ES capability of self-organization to realize local innovations	The efficiency growth of equipment utilization, production, revenue and profit
Innovative	State, proprietors, management, workshop supervisors, production floor supervisors, technicians, foremen, workers	Integrated Innovations	Development and realization of resources provision plans for integrated innovations	ES capability of self-organization to realize integrated innovations	The efficiency growth of an investment project, revenue and profit, business value

Synergy in management is to yield some competitive advantages by means of self-organization of two or more ES making MD. At that, synergetic effect obtained from their interaction can be either positive or negative. Synergism strategy in management provides for efficiency enhancement of various fields by means of mutual use of the resources [8–10].

The significance of synergy in innovation management consists in the fact, that it allows an enterprise to achieve competitiveness by means of implementing both local and integrated innovations; increase production capacities and profitability. Local innovations are directed at the fullest use of manufacturing capacities and expenses reduction; integrated innovations are aimed at workflow rearrangement, structural transformation, as well as the modification of manufacturing functions and relations [11].

It is clear, that ES capability of self-organization reduces the risks of a negative synergetic effect in economy. This competitive advantage appears in case every manager of every hierarchical level possesses innovative potential and innovative capacities, which allow them to cooperate within tough requirements to the quality of MD connected to the development and implementation of local and integrated innovations resources provision plans.

The elements of synergy formation management for innovations at an enterprise are developed with regard to a mining enterprise (table 1).

Innovative abilities and innovative opportunities of ES determine the subjects capability to self-organization to fulfill both local and integrated innovations. Innovative abilities are viewed as knowledge and skills allowing the subjects to efficiently develop and realize the plans of innovations resources provision. Innovative opportunities are viewed as the conditions for personnel innovative abilities realization, created through corresponding management resources [11, 12].

The following can be referred to management resources [13, 14]:

- behavioral strategy of the owners directed at the improvement of labour conditions of workers and management;
- the system of education and advanced training aimed at new knowledge, experience, and skills;
- corporate culture based on the coordinated values of ES, formal and informal standards and rules of conduct;
- information system providing ES with full and reliable information;
- systems of incentives and control directed at the growth of interaction efficiency between ES;
- financial system supplying the enterprise with funds to realize the investment program;
- innovative environment creating conditions for professional growth and ES promotion;
- social-domestic infrastructure providing ES with comfort conditions of work and housing.

ES ability for self-organization in order to implement local and integrated innovations should be assessed with the indicators reflecting the concordance of viewpoints of the subjects  $W$  and the efficiency of resources utilization.

The indicators of ES ability for self-organization to implement innovations are the coefficient of ES viewpoints concordance and the coefficient of industrial resources utilization efficiency.

The coefficient of ES viewpoints concordance [15]:

$$W = \frac{S_{12}}{\max(S_1, S_2)} \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{n(k - m)} \right),$$

where  $S_{12}$  – the amount of concurrent factors of efficiency and safety chosen by the 1st and 2nd subject;  $S_1, S_2$  – the amount of factors chosen by the 1st and 2nd subject;  $x_i, y_i$  – the amount of grades reflecting the importance of the  $i$ -factor as estimated by the 1st and 2nd subject;  $n$  – the total amount of factors chosen by both subjects;  $k$  – maximum assigned value of grades;  $m$  – minimum assigned value of grades.

Depending on the value of the concordance coefficient which varies from 0 to 1, the following levels of viewpoints concordance are distinguished: high –  $W \geq 0.7$ ; normal –  $W \in [0.5; 0.7]$ ; low –  $W \in [0.2; 0.5]$ ; very low –  $W < 0.2$ .

**Table 2. Synergy formation management for technological innovation at a drilling site of a mining enterprise**  
**Таблица 2. Управление формированием синергии для технологической инновации на буровом участке горнодобывающего предприятия**

Synergy planning	Synergy organization	motivating the personnel	Synergy control
<ol style="list-style-type: none"> <li>The analysis of the previous performance indicators of a drilling rig</li> <li>Goal setting by the management of an enterprise – to achieve labour productivity exceeding 1000 m per shift*</li> <li>The development of drilling technology to achieve the required parameters of a block being drilled</li> <li>Technology negotiation with the managers of the enterprise and the site</li> <li>Introducing the drilling technology to the personnel of the drilling site</li> <li>Planning the realization of a drilling technology:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– determining the parameters of a drilling area;</li> <li>– determining the technological characteristics of a drilling rig and drilling bits, and the number of spare parts</li> </ul> </li> <li>Planning the schedule of a working shift/shift changeover</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Forming the composition of a drilling rig crew</li> <li>Accepting the new rules of the crew interaction</li> <li>Forming the composition of a repair crew for immediate repairs</li> <li>Accepting the new rules of shift changeover between different crews</li> <li>Accepting the new rules of the drilling rig accelerated refueling by a refueling tanker with a higher capacity</li> <li>The coordination of the drilling rig refueling with a dispatcher</li> <li>Setting the new rules of oil refueling with the help of a new discharge system PRELUBE</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Forming a friendly attitude and mutual support</li> <li>Holding trainings increasing the concordance of the crew interaction</li> <li>Naming the prestige value and the recognition of previous performance indicators</li> <li>mutual search for the possibilities to achieve the goal</li> <li>Sizing the reward for the results achieved</li> <li>The reward guarantee at the management level of the enterprise and company</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Appointing people responsible for the control function</li> <li>Control over the state of a block for drilling according to the schedule</li> <li>Control over the number of the drilled meters according to the schedule</li> <li>Control over the technical state of equipment according to the schedule</li> <li>monitoring the critical level of fuel in a tank, informing the dispatcher</li> <li>monthly control and results analysis</li> <li>Informing the management of the enterprise on the pace of achieving the goal</li> </ol>



The coefficient of industrial resources utilization efficiency [16]:

$$K_{и.р} = \frac{Y_{p.ф}}{Y_{p.э}}$$

where  $Y_{p.ф}$  – the actual level of resources utilization;  $Y_{p.э}$  – the reference level of resources utilization, in the capacity of which the world’s (branch’s or enterprise’s) best level or the theoretically possible one is accepted.

**The results estimation of synergy formation management** for innovations at an enterprise includes the total of methods and procedures allowing to determine the value of synergetic effects (SE) in manufacturing and innovative activity. It is known, that the value of SE in the manufacturing activity is limited by the production capacity of an item of equipment or a workshop; in the innovative activity – by the planned efficiency of investment projects.

Fig. 1 presents the model of synergy formation management for innovations at an enterprise [17–21].

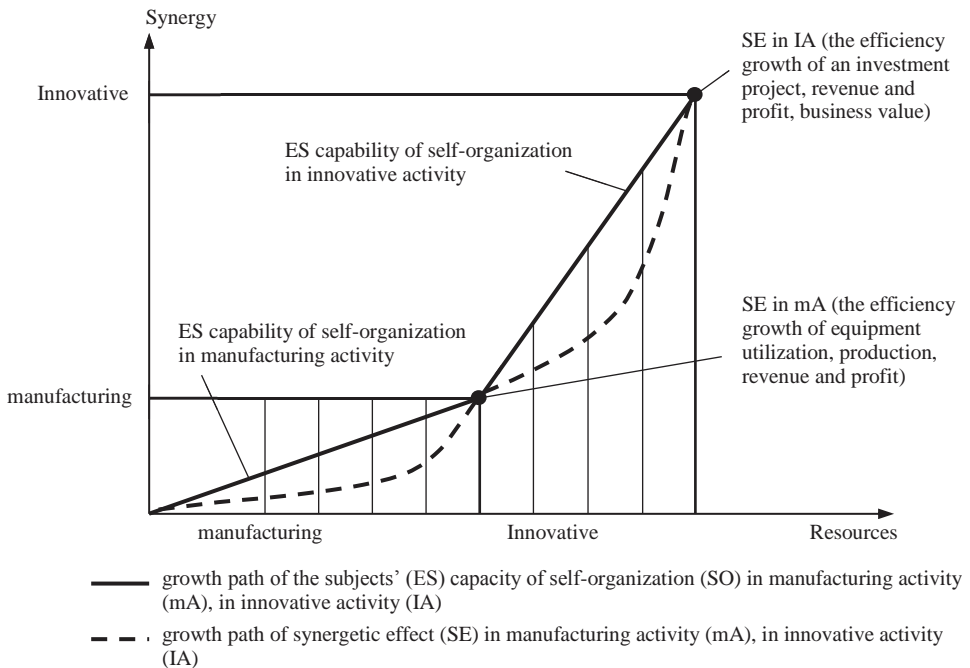


Fig. 1. The model of synergy formation management for innovations at an enterprise  
 Рис. 1. Модель управления формированием синергии для инноваций на предприятии

**Results application.** By way of example of applying separate methodological theses, work practice presents an experience of synergy formation management for technological innovation at a drilling site of a mining enterprise. Management purpose is the formation of a synergetic effect measured with the drilling rig capacity index (table 2, data specified with \* have been obtained by A. S. Dovzhenok and A. G. Zhilkin (*Investigation report for 2017. Scientific and methodological maintenance of work space and dangerous workplace situations dynamics and condition monitoring system development in AO Razrez Tugnuisky. Chelyabinsk, 2017. 46 p.*)).

It can be seen from the table 2 that synergy formation management for technological innovation is carried out with the help of universal management functions: goal setting, planning the stages of development and technological innovation realization; organizing

the complex of special activities creating the conditions for technological innovation realization; motivating the personnel for conscious and voluntary participation in innovation; control over the efficiency of synergy formation management based on the analysis of the economic effect obtained.

**Conclusions.** For an enterprise, innovation is a means of moving to a brand new level, new condition. Innovation efficiency is ensured by coordinated interaction between ES – synergy being a strategic advantage of an enterprise as a social-economic system. The coordinated interaction between ES occurs in case ES are capable of self-organization. ES capability of self-organization is a criterion of synergy, the value of which depends on the innovative potential of the subjects and their innovative opportunities, which are formed at an enterprise with the help of the corresponding management resources. Thus, the essence of synergy formation management for innovations at an enterprise consists in the formation management of ES capability of self-organization to implement innovations directed at the acquirement of the economic effect at the enterprise.

#### REFERENCES

1. Galkina N. V. [A coal producer's social-economic adaptation to the innovative model of technological development]. Moscow, Ekonomika Publ., 2007, pp. 15–34.
2. Gamidov G. S., Tepsaev A. N., Gadzhimuradova D. Z. [Innovations and competitiveness are the main factors of industrial enterprises sustainable development]. *Innovatsii – Innovations*, 2009, no. 1, pp. 85–89. (In Russ.)
3. Bulgakova I. N., Salikov Iu. A. [Improving the model of social-economic systems development]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniia – Modern Economics: Problems and Solutions*, 2010, no. 2(2), pp. 146–154. (In Russ.)
4. Ozhegov S. I. [Defining Dictionary of the Russian language]. Moscow, TEMP Publ., 2008. 736 p.
5. Raizberg B. A., Lozovskii L. Sh., Starodubtseva E. B. [Modern dictionary of economics]. Moscow, INFRA-M Publ., 2006. 495 p. (In Russ.)
6. Skiba A. N. [Resonance effects in economy: forming of system-synergetic approach]. *Trudy Instituta sistemnogo analiza rossiyskoy akademii nauk – Proceeding of the Institute for Systems Analysis of the Russian Academy of Science*, 2011, vol. 61, no. 3, pp. 65–75. (In Russ.)
7. Boldoev O. N. [Innovative dynamics and financial markets in the developed countries from the position of self-organization]. *Problemy prognozirovaniia – Studies on Russian economic Development*, 2008, no. 5. 21 p. (In Russ.)
8. Kniazeva E. N., Kurdiymov S. P. [Fundamentals of synergy. Modes with escalation, self-organization, and tempo worlds]. Moscow, Alleteya Publ., 2002. 218 p.
9. Zhemchuzhnikov S. I. [Directions of improving interaction between the enterprises based on the integration of economic processes]. *Innovatsionnyi vestnik region – Innovative Bulletin Region*, 2011, no. 1, pp. 20–26. (In Russ.)
10. Iakutin Iu. V. [Models of corporate integration: design, development, and efficiency]. Moscow, Ekonomicheskaya gazeta Publ., 2006. 7 p.
11. Gorshenin V. P., Lega K. A. [The influence of the innovative potential of the personnel on the performance of innovative transformations. Proc. Internat. Sci.-to-Pract. Conf. "Strategic Control over the Resource at the Enterprise"]. Chelyabinsk, 2005, pp. 34–40. (In Russ.)
12. Alekseev A. P. [The use of R. Stone's model to assess the synergetic effect on the process of enterprise integration]. *Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshchestva – Science and Education in the Life of a Modern Society*, 2014, no. 11, pp. 10–11. (In Russ.)
13. Senge P. [The fifth discipline: the art and practice of learning organization. Translation from English]. Moscow, Olimp-Biznes Publ., 2003. 408 p.
14. Ivantss A. I. [Da Vinci code in business, or well-balanced management according to Fibonacci]. Moscow, KomKniga Publ., 2005. 104 p.
15. Poleshchuk M. N. [On the calculation of the concordance coefficient. Proc. Sci.-to-Pract. Conf. "The Management Problems of Regional and Municipal Development" (Chelyabinsk, 8th December, 2006)]. Chelyabinsk, Entsiklopediia Publ., 2007, pp. 142–145. (In Russ.)
16. Prakhlad K. K., Krishnan M. S. [The space of business innovation: creating the value together with the consumer. Translation from English]. Moscow, Al'pina Publisherz: Iurait, 2011. 258 p.
17. Rangus K., Slavec A. The interplay of decentralization, employee involvement and absorptive capacity on firms' innovation and business performance. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, vol. 120, pp. 195–203.
18. Dawit K. Mekonnen, Jeffrey H. Dorfman. Synergy and learning effects of informal labor-sharing arrangements. *World Development*, 2017, vol. 99, pp. 1–14.
19. Chen H., Qi H., Feng Q. Characteristics of direct causes and human factors in major gas explosion accidents in Chinese coal mines: case study spanning the years 1980–2010. *J. Loss Prev. Process. Ind.*, 2013, no. 26, pp. 38–44.

20. Christiane Prange, José Carlos Pinho. How personal and organizational drivers impact on SME international performance: the mediating role of organizational innovation. *International Business Review*, 2017, vol. 26, issue 6, pp. 1114–1123.

21. Markko Hamalainen, Babak Mohajeri, Timo Nyberg. Removing barriers to sustainability research on personal fabrication and social manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 180, pp. 666–681.

Received 2nd July, 2018

**For citation:** Galkina N. V. Synergy formation management for innovations at an enterprise. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2018. No. 8. Pp. 83–90.

#### Information about authors:

**Galkina Natal'ia Vladimirovna** – Doctor of Economic Science, leading researcher, Research Institute of Mining Industry Efficiency and Safety. E-mail: galkinanv2012@mail.ru

### УПРАВЛЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЕМ СИНЕРГИИ ДЛЯ ИННОВАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Галкина Н. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства», Челябинск, Россия.

*Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности взаимодействия персонала в инновациях, направленных на повышение конкурентоспособности предприятия.*

**Цель работы.** Обоснование необходимости применения синергетического подхода для повышения эффективности взаимодействия персонала в инновациях.

**Методология исследования.** Использован синергетический подход, в котором ожидаемый синергетический эффект от взаимодействия субъектов предприятия в инновациях достигается за счет их способности к самоорганизации.

**Результаты.** Установлено, что эффективность управления формированием синергии для инноваций на предприятии может быть достигнута за счет самоорганизации субъектов предприятия в производственных и инновационных процессах. Для снижения риска возникновения отрицательного синергетического эффекта выделены элементы управления формированием синергии для инноваций применительно к горнодобывающему предприятию, в числе которых способность субъектов к самоорганизации – преимущество, позволяющее достигать синергетических эффектов во всех видах деятельности. Показана зависимость способности субъектов к самоорганизации от их инновационных способностей и возможностей. Разработана модель управления формированием синергии для инноваций на предприятии.

**Применение результатов.** Показан пример управления формированием синергии для технологической инновации на буровом участке горнодобывающего предприятия.

**Ключевые слова:** предприятие; субъекты предприятия; инновация; взаимодействие; синергия; синергетический эффект; самоорганизация; способность к самоорганизации; ресурсы; инновационные способности; инновационные возможности; модель управления.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-83-90

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галкина Н. В. Социально-экономическая адаптация угледобывающего предприятия к инновационной модели технологического развития. М.: Экономика, 2007. С. 15–34.
2. Гамидов Г. С., Тепсаев А. Н., Гаджимурадова Д. З. Инновации и конкурентоспособность – главные факторы устойчивого развития промышленных предприятий // Инновации. 2009. № 1. С. 85–89.
3. Булгакова И. Н., Саликов Ю. А. Совершенствование модели развития социально-экономических систем // Современная экономика: проблемы и решения. 2010. № 2(2). С. 146–154.
4. Ожегов С. И. Толковый словарь русского языка. М.: ТЕМП, 2008. 736 с.
5. Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. М.: ИНФРА-М, 2006. 495 с.
6. Скиба А. Н. Резонанс-эффекты в экономике: формирование системно-синергетического подхода // Труды ИСА РАН. 2011. Том 61. № 3. С. 65–75.
7. Болдоев О. Н. Инновационная динамика и финансовые рынки в развитых странах с позиции самоорганизации // Проблемы прогнозирования. 2008. № 5. 21 с.
8. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомеры. М.: Аллетта, 2002. 218 с.

9. Жемчужников С. И. Направления совершенствования взаимодействия предприятий на основе интеграции экономических процессов // *Инновационный вестник регион*. 2011. № 1. С. 20–26.
10. Якутин Ю. В. Модели корпоративной интеграции: проектирование, развитие, эффективность. М.: Экономическая газета, 2006. 7 с.
11. Горшенин В. П., Лега К. А. Влияние инновационного потенциала персонала на результативность инновационных преобразований // *Стратегическое управление ресурсами предприятия: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф.* Челябинск, 2005. С. 34–40.
12. Алексеев А. П. Использование модели Р. Стоуна для оценки синергетического эффекта процесса интеграции предприятий // *Наука и образование в жизни современного общества*. 2014. № 11. С. 10–11.
13. Сенге П. Пятая дисциплина: искусство и практика самообучающейся организации / пер. с англ. М.: Олимп-Бизнес, 2003. 408 с.
14. Иванцс А. И. Код да Винчи в бизнесе, или гармоничный менеджмент по Фибоначчи. М.: Ком-Книга, 2005. 104 с.
15. Полещук М. Н. О расчете коэффициента конкордации // *Проблемы управления развитием регионов и муниципалитетов: матер. науч.-практ. конф.* (Челябинск, 8 дек. 2006 г.) Челябинск: Энциклопедия, 2007. С. 142–145.
16. Прахалад К. К., Кришнан М. С. Пространство бизнес-инноваций: создание ценности совместно с потребителем / пер. с англ. М.: Альпина Паблишерз; Юрайт, 2011. 258 с.
17. Rangus K., Slavec A. The interplay of decentralization, employee involvement and absorptive capacity on firms innovation and business performance // *Technological Forecasting and Social Change*. 2017. Vol. 120. P. 195–203.
18. Dawit K. Mekonnen, Jeffrey H. Dorfman. Synergy and learning effects of informal labor-sharing arrangements // *World Development*. 2017. Vol. 99. P. 1–14.
19. Chen H., Qi H., Feng Q. Characteristics of direct causes and human factors in major gas explosion accidents in Chinese coal mines: case study spanning the years 1980–2010 // *J. Loss Prev. Process. Ind.* 2013. No. 26. P. 38–44.
20. Christiane Prange, José Carlos Pinho. How personal and organizational drivers impact on SME international performance: the mediating role of organizational innovation // *International Business Review*. 2017. Vol. 26. Issue 6. P. 1114–1123.
21. Markko Hamalainen, Babak Mohajeri, Timo Nyberg. Removing barriers to sustainability research on personal fabrication and social manufacturing // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 180. P. 666–681.

#### **Сведения об авторах:**

**Галкина Наталья Владимировна** – доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства». E-mail: galkinanv2012@mail.ru

---

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

КАРФИДОВА Е. А.<sup>1</sup>, МАКЕЕВ В. М.<sup>1</sup>, КРАВЧЕНКО И. М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт геоэкологии имени Е. М. Сергеева РАН  
(Россия, г. Москва, Уланский пер., 13, стр. 2)

***Введение.** Модель сети поверхностного стока бассейна р. Усолка, расположенного в пределах Верхнекамского месторождения, создана с целью выявления зон повышенного увлажнения земной поверхности. С этими областями связывается повышенная инфильтрация пресных поверхностных вод в толщу горных пород и развитие суффозионных и карстовых процессов, которые являются опасными для горных выработок.*

***Методика проведения исследований.** Моделирование осуществлялось в среде геоинформационного проекта на программном обеспечении ESRI ArcGIS10.4 с модулями Spatial Analyst и 3D Analyst. Исходным материалом для создания модели послужили геоморфологические данные.*

***Результаты и их анализ.** В результате моделирования построена цифровая модель рельефа и модель сети поверхностного стока, определены и классифицированы локальные замкнутые понижения рельефа, выделены и классифицированы водосборные бассейны на основе их морфометрических и гидрологических показателей.*

***Выводы и область применения результатов.** Моделирование позволило выявить зоны скопления пресных вод, в пределах которых возможно развитие негативных инженерно-геологических процессов и явлений. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании и разработке месторождений полезных ископаемых с целью обеспечения горно-геологической и геоэкологической безопасности.*

***Ключевые слова:** геоморфология; поверхностный сток; суффозия; карст; месторождение; безопасность.*

**Введение.** Территория Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) находится в Пермской области в зоне сопряжения западного склона Среднего Урала и Восточно-Европейской платформы. Калийно-магниево-соли залегают в пределах Соликамской раннепермской впадины в виде крупной двояковыпуклой линзы [1]. Методы оценки поверхностного стока рассматриваются на примере бассейна р. Усолка (левый приток р. Кама), расположенного в центральной части ВКМКС. На исследуемой территории, подверженной катастрофическим провалам, подобные исследования до сих пор не проводились.

Геолого-гидрогеологические условия рассматриваемой территории характеризуются двумя особенностями: соли залегают в среднем на глубине 100 м и вверх по разрезу переходят в раннепермские терригенно-карбонатные породы, способные к выщелачиванию; водоносные комплексы в этих породах слабо изолированы друг от друга и от поверхностного водотока [2, 3].

В процессе разработки месторождений происходит техногенное изменение гидрогеологических условий и напряженно-деформированного состояния горного массива. В результате этого по контуру горных выработок может формироваться зона повышенной трещиноватости, в пределах которой породы приобретают

пониженные прочностные свойства и повышенную газофлюидную проницаемость. По этим зонам подземные воды могут проникать из надсоляной толщи в соляную, уменьшать несущую способность кровли горных выработок и вызывать образование негативных явлений. В пределах ВКМКС с 1986 г. произошло множество крупных провалов, один из которых образовался на территории Березниковского калийного производственного рудоуправления № 1 [4] (рис. 1).

Следует отметить, что одной из причин образования провалов является недостаточно полное изучение гидрологических и гидрогеологических условий территории, в особенности мало внимания уделяется развитию методов оценки поверхностного стока и закономерностям его распределения в зависимости от деформаций земной поверхности.



Рис. 1. Провал на Березниковском калийном производственном рудоуправлении № 1  
Fig. 1. Soil depression on the territory of the 1st Berezniki potash production group

**Методика исследований.** Оценка поверхностного стока как важной составляющей изучения гидрологических условий территорий месторождений базируется на методологии цифровой картографии рельефа и морфометрии, заложенной в классических работах А. М. Берлянта, А. Н. Ласточкина, Э. А. Лихачевой, Е. М. Николаевской, К. А. Салищева, С. Н. Сербенюка, Ю. Г. Симонова, А. И. Спиридонова [5, 6], S. Jenson, I. Moore, D. Tarboton [7–9]. С развитием геоинформационных технологий появились новые подходы и методы для создания усовершенствованной модели поверхностного стока.

Модель оценки поверхностного стока бассейна р. Усолка создана в среде геоинформационного проекта на программном обеспечении ESRI ArcGIS10.4 с модулями Spatial Analyst и 3D Analyst, которые позволяют создавать и анализировать векторные и растровые данные. Векторные данные представлены в виде географических объектов (точки, линии или полигональные объекты), которые имеют координаты и определенный набор атрибутов. Растровые данные представляют собой географические объекты, разделенные на непрерывные прямоугольные или квадратные ячейки, которые покрывают координатную сетку (ГРИД). Каждой ячейке присваивается значение, которое характеризует площадь, занимаемую данной ячейкой (высота, температура или спектральное значение и т. д.) [10].

**Результаты создания модели поверхностного стока.** Создание модели сети поверхностного стока бассейна р. Усолка основано на выполнении шести после-

довательных этапов: 1) построение цифровой модели рельефа; 2) построение модели сети поверхностного стока; 3) выделение водосборных бассейнов; 4) расчет морфометрических и гидрологических показателей; 5) типизация водосборных бассейнов; 6) типологическая классификация локальных замкнутых понижений.

1. Цифровая модель рельефа (ЦМР) строится традиционными методами [10]. Для этого на основе имеющихся изолиний рельефа с помощью модуля 3D Analyst создается нерегулярная триангуляционная сеть земной поверхности (Triangular Irregular Networks – TIN). После построения TIN осуществляется ее выверка: определяются уклоны и экспозиции треугольников-склонов, анализируются, выделяются и исправляются области несоответствия построенной сети реальным природным условиям (места резкой смены экспозиции склонов). На основе выверенной TIN строится непосредственно ЦМР или растровая поверхность в виде регулярной координатной сети (ГРИД), каждой ячейке которой соответствует значение высоты земной поверхности. Размер ячеек ГРИД подбирается исходя из точности исходных данных и площади исследуемой территории. В данной модели использовался размер 50 x 50 м.

2. Методические основы создания модели поверхностного стока заложены в работах S. Jenson, I. Moore, D. Tarboton [7–9]. Необходимое программное обеспечение реализовано в среде ArcGIS. С помощью инструмента «Заполнение» в модуле Spatial Analyst создается ЦМР с заполнением локальных понижений, что является «идеальной» моделью для расчета стоков. Далее с помощью калькулятора растров выполняется расчет разницы между скорректированной ЦМР и исходной, что позволяет получить растровую ГРИД локальных понижений рельефа [11]. По этой ГРИД рассчитываются изолинии с сечением через 1 м и выделяются замкнутые локальные понижения с глубиной, равной 1 м и больше, и длиной более 100 м (существенной для рассматриваемого масштаба). В дальнейшем будет решаться задача дифференциации локальных замкнутых понижений (ЛЗП) относительно их глубины и локализации в рельефе.

После создания «идеальной» ЦМР необходимо определить направление стока из каждой ячейки растра. Это делается с помощью инструмента «Направление стока» в модуле Spatial Analyst на основе скорректированной ЦМР. В получаемой растровой поверхности каждой ячейке присваивается одно из восьми возможных направлений стока (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ). Далее с помощью инструмента «Суммарный сток» в том же модуле строится растровая поверхность, каждой ячейке которой присваивается значение, равное количеству всех ячеек, из которых результирующий сток осуществляется в данную ячейку [11]. Полученный растр суммарного стока конвертируется в shape-файл полигональных объектов, для которых рассчитываются центры масс суммарного стока. Этот прием дает возможность использовать шкалу масштабируемого символа, благодаря чему переход от символа малого размера к символу большего размера наглядно показывает направление движения стоков. Для представления сети стока также необходимо задать минимальное значение суммарного стока (Min CC). Это является существенным для рассматриваемого масштаба (Min CC = 20), т. е. принимаются во внимание ячейки с суммарным стоком  $20 \times 50 \times 50 \text{ м} = 50\,000 \text{ м}^2$ . Результаты расчета приводятся в виде модели поверхностного стока бассейна р. Усолка (рис. 2).

3. На основе растровых поверхностей направления стока и суммарного стока с помощью соответствующего инструмента в модуле Spatial Analyst рассчитываются водосборные бассейны, которые представляются в виде полигональных объектов (рис. 2). При этом задается минимальный размер водосборного бассейна (в ячейках ГРИД). Далее производится выверка границ водосборных бассейнов: они сопоставляются с речной сетью и с точками входа и выхода суммарного



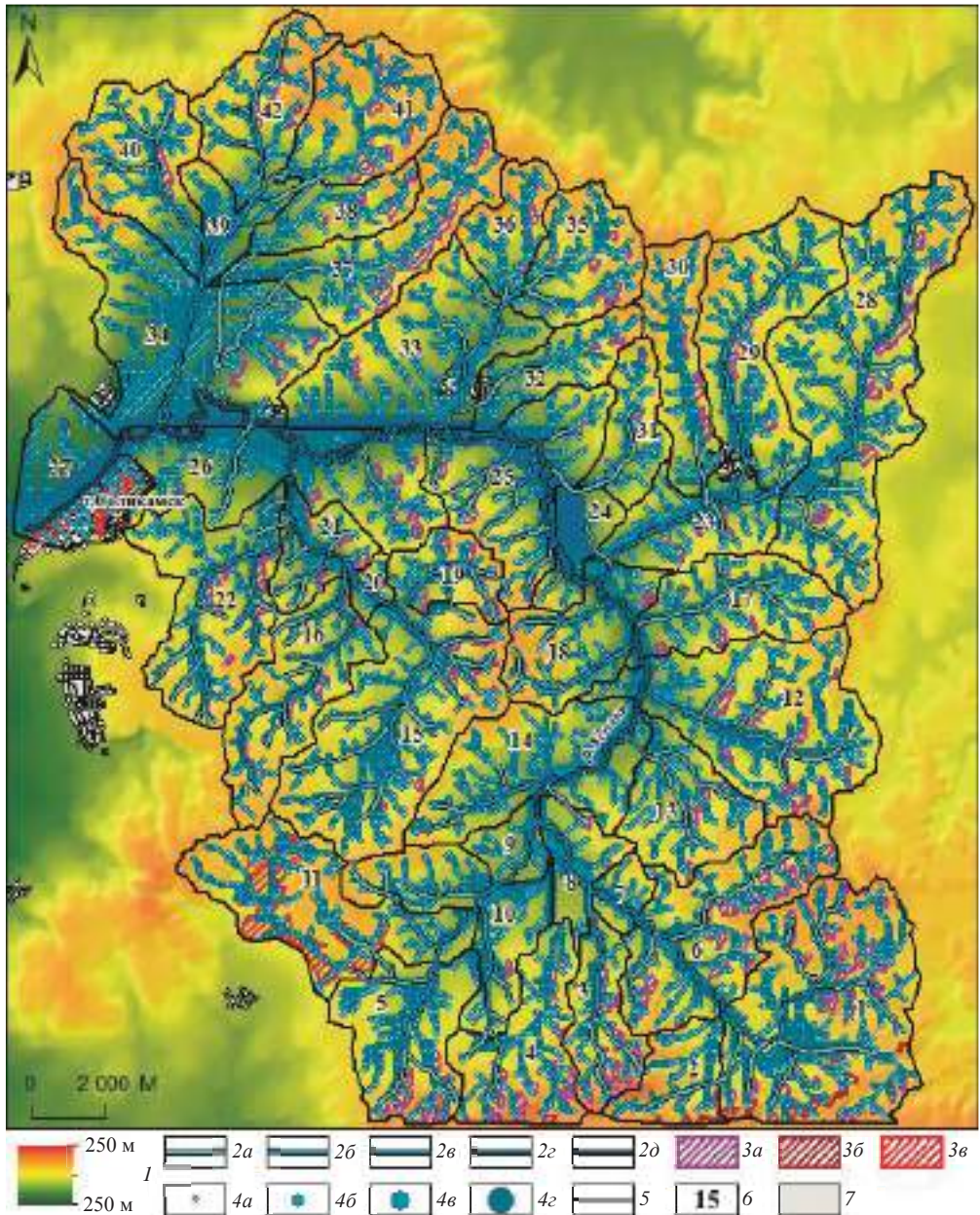


Рис. 2. Модель сети поверхностного стока бассейна р. Усолка:

1 – цифровая модель рельефа; 2а–2д – речная сеть по порядку притоков (I–V порядок); 3а–3е – локальные замкнутые понижения рельефа (склоновые, водораздельные и овражные); 4а–4е – центры масс стоков по числу ячеек-источников стока (20–7450, 7451–30626, 30627–76086, 76087–214754); 5 – границы водосборных бассейнов; 6 – номер водосборных бассейнов; 7 – инфраструктура рассматриваемой территории

Fig. 2. The model of the surface runoff network of the Usolka river basin:

1 – digital elevation model; 2а–2д – river network in order of tributaries (I–V order); 3а–3е – local closed relief depressions (slope, watershed and gully); 4а–4е – the centers of mass of the surface runoff by the number of cells-sources of runoff (20–7450, 7451–30626, 30627–76086, 76087–214754); 5 – borders; 6 – number of catchment basins; 7 – territory infrastructure



стока. В местах, где границы бассейнов неточны, чрезмерно прямолинейны или противоречат природным закономерностям, они редактируются вручную.

4. Дальнейшее изучение поверхностного стока основано на определении основных морфометрических и гидрологических показателей. Они позволяют провести сравнительный анализ водосборных бассейнов, которые подразделяются на три основных группы: начальные, срединные и устьевые. Группа начальных бассейнов объединяет водотоки 1-го и 2-го порядков, группа срединных – 3-го и 4-го порядков, группа устьевых – 5-го порядка (по системе кодирования порядков Хортонa [12]).

Расчет морфометрических и гидрологических показателей в пределах водосборных бассейнов производится с использованием функции зональной статистики модуля Spatial Analyst. Оцениваются четыре показателя: 1) изменчивость рельефа; 2) извилистость русла; 3) уклоны русла; 4) топографический индекс влажности.

1) Оценка изменчивости рельефа ERR (Elevation Ratio Relief) в пределах водосборного бассейна рассчитывается по формуле:

$$ERR = (\text{Max} - \text{Mean}) / \text{Range},$$

где Max – максимальное значение высоты рельефа; Mean – среднее значение высоты рельефа; Range – разброс значений высоты рельефа.

2) Оценка извилистости русла рассчитывается в пределах водосборного бассейна по формуле:

$$I_z = L_{\text{sum}} / L_e,$$

где  $L_{\text{sum}}$  – суммарная длина отрезков русла от точки входа до точки выхода;  $L_e$  – эвклидово расстояние между точками входа и выхода.

Для платформенных территорий обычным является снижение извилистости русла от истоков к устью. В речном бассейне Усолки извилистость русла изменяется в 3–4 раза: прямолинейные участки характерны для начальных водосборных бассейнов, извилистость увеличивается для срединных бассейнов и максимальна для устьевых бассейнов.

3) Оценка уклонов русел определяется на основе уклонов ЦМР (растра уклонов) по отношению к конкретному отрезку русла. По совокупности этих данных в пределах водосборного бассейна рассчитывается среднее значение уклонов русла. Для платформенных территорий обычным является снижение уклонов русла от истоков к устью.

4) Топографический индекс влажности (Topographic Wetness Index – TWI) рассчитывается по следующей формуле:

$$TWI = \ln(A_{\text{wsh}} / \text{tg}(\text{Slp})),$$

где  $A_{\text{wsh}}$  – суммарный сток в ячейку (безразмерная величина); Slp – уклон земной поверхности в пределах ячейки (в радианах) [13]. Наибольшие значения данного показателя характерны для водосборных бассейнов № 7, 10, 11, 23 и 26 (рис. 3).

5. Анализ сводных морфометрических показателей и оценок сети поверхностного стока позволяет рассматривать группы бассейнов (начальные (I), срединные (II) и устьевые (III)) в разных аспектах (таблица). Большую площадь водосбора речной системы Усолки занимает группа начальных водосборных бассейнов (57,6 % общей площади водосбора), одну треть занимает группа срединных бассейнов (31,4 %), группа устьевых бассейнов – только 12,0 %.

Морфометрические и гидрологические показатели водосборных бассейнов р. Усолка  
Morphometric and hydrological indicators of the Usolka river catchment basins

Группа бассейнов	Номер	Входящий сток (ячейки)	Выходящий сток (ячейки)	S, км <sup>2</sup>	Уклон русла, град	TWI	Характеристика рельефа, м				ERR	Порядок
							min	max	Range	mean		
I	1	0	11239	28,1	5,58	8,35	160	230	70	197	0,47	3
	2	0	2397	6,0	5,47	8,37	160	250	90	199	0,56	3
	3	0	2860	7,17	5,47	8,36	150	250	100	189	0,60	2
	4	0	4501	11,4	5,90	8,28	150	240	90	192	0,53	1
	5	0	4872	12,5	6,47	8,17	160	230	70	181	0,69	3
	11	0	66670	16,8	3,4	11,12	150	230	80	187	0,53	3
	13	0	3907	9,8	4,68	8,52	138	210	72	174	0,49	2
	15	0	9832	24,5	3,67	8,78	140	220	80	179	0,51	3
	16	0	5132	12,9	4,42	8,58	140	210	70	181	0,40	3
	19	0	2109	5,3	6,02	8,27	140	220	80	180	0,49	2
	22	0	6441	16,1	5,69	8,33	122	210	88	174	0,40	3
	28	0	10210	30,5	6,49	8,02	143	210	67	179	0,45	2
	29	0	6603	17,1	4,01	8,64	140	220	80	179	0,51	2
	30	0	3691	9,2	4,18	8,64	140	220	80	185	0,43	1
	31	0	2386	5,9	4,33	8,59	130	210	80	170	0,49	1
	32	0	2499	6,7	4,07	8,59	120	220	100	160	0,59	1
	35	0	3660	9,2	4,90	8,48	132	220	88	186	0,38	2
	36	0	2273	5,7	4,20	8,63	130	220	90	185	0,38	2
	37	0	8174	14,3	4,37	8,95	121	220	99	179	0,41	1
38	0	2411	6,1	3,93	8,69	130	220	90	167	0,59	1	
40	0	4576	11,4	4,23	8,62	120	220	100	178	0,41	2	

II	41	0	4775	11,9	4,60	8,54	140	220	80	195	0,31	1
	42	0	4813	10,4	4,80	8,64	134	220	86	186	0,39	2
	6	13639	15682	17,3	5,7	7,10	159	230	71	186	0,62	3
	7	15683	21517	2,2	5,3	10,25	150	190	40	167	0,56	3
	8	24400	26350	4,9	3,7	8,73	140	190	50	158	0,63	4
	9	20900	22180	3,1	3,6	8,78	140	175	35	150	0,70	4
	10	6722	16275	11,4	2,2	9,99	150	220	70	170	0,71	3
	12	58848	59263	22,1	5,2	5,35	130	220	90	175	0,49	4
	14	48556	54930	16,0	4,2	8,63	130	210	80	164	0,57	4
	17	59264	68325	11,1	5,2	9,14	130	210	80	169	0,50	4
18	72144	76086	9,9	4,6	8,52	130	220	90	167	0,58	4	
20	11957	12534	1,4	5,4	8,40	140	180	40	151	0,71	3	
21	17668	19892	5,6	4,1	8,63	122	180	58	154	0,43	4	
23	12190	26335	9,0	4,8	9,86	130	190	60	155	0,57	3	
24	102447	104162	4,3	4,6	8,52	130	210	80	144	0,82	4	
25	106626	112812	15,7	6,0	8,25	120	220	100	155	0,64	4	
33	5951	13474	18,8	3,6	8,77	120	210	90	150	0,66	4	
39	8948	10714	4,4	3,7	8,75	120	200	80	144	0,69	3	
III	26	115546	155554	18,2	5,5	10,07	110	200	90	141	0,65	5
	27	201859	205528	10,2	4,3	8,48	110	190	80	131	0,74	5
	34	19011	34771	26,0	3,8	9,14	110	220	110	142	0,71	5

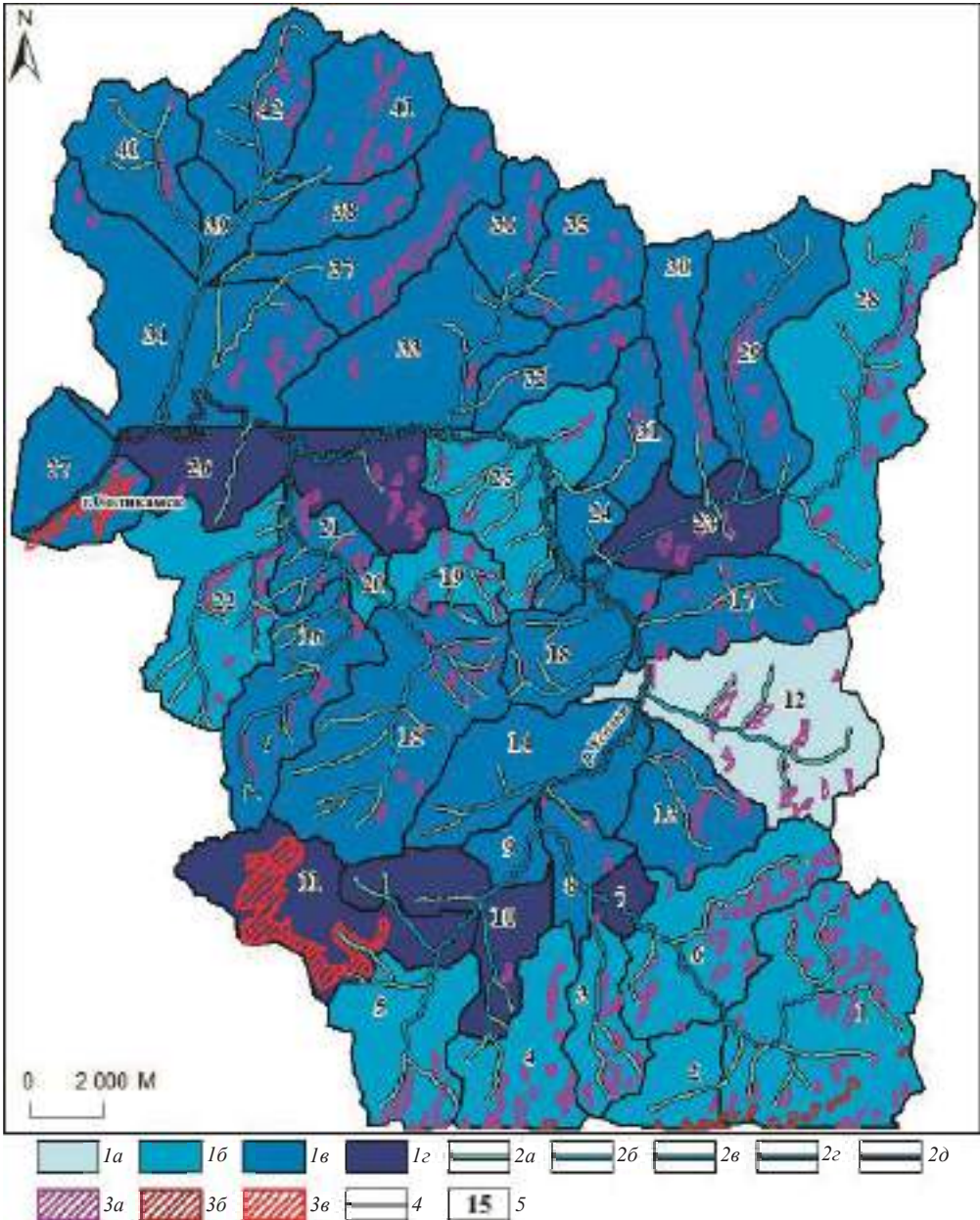


Рис. 3. Распределение топографического индекса влажности по водосборным бассейнам:  
 1a–1e – значение топографического индекса влажности ( $\leq 5,350$ ; 5,351–8,399; 8,400–9,139; 9,140–11,115);  
 2a–2d – речная сеть по порядку притоков (I–V порядок); 3a–3e – локальные замкнутые понижения рельефа  
 (склоновые, водораздельные и овражные); 4 – границы; 5 – номер водосборных бассейнов.  
 Fig. 3. Distribution of topographic wetness index in catchment basins:  
 1a–1e – the value of topographic wetness index ( $\leq 5,350$ ; 5,351–8,399; 8,400–9,139; 9,140–11,115); 2a–2d – river  
 network in order of tributaries (I–V order); 3a–3e – local closed relief depressions (slope, watershed and gully);  
 4 – borders; 5 – number of catchment basins

Средние значения абсолютной высоты рельефа уменьшаются со 181,59 до 138,00; показатель изменчивости рельефа существенно увеличивается с 0,48 до 0,70; средний топографический индекс влажности увеличивается незначительно с 8,50 до 9,23. В каждой группе бассейнов различаются бассейны с низким русловым уклоном, большей извилистостью русла водотока, с низким ростом суммарного стока и большей оценкой топографического индекса влажности (см. таблицу, серый цвет). Согласно этим показателям такие бассейны относятся к особому виду накопительных водосборных бассейнов.

6. Важнейшей морфометрической особенностью исследуемой территории являются локальные замкнутые понижения. Их типологическая классификация основывается на выявлении денудационных процессов на склонах и водораздельных зонах, а также анализе овражной эрозии. Локальные замкнутые понижения рассматриваются относительно форм рельефа (бровок склонов и зон водоразделов), что позволило разделить их на три группы: 1) денудационные склоновые, 2) денудационные водораздельные и 3) овражные.

Первая группа связана с денудационными процессами в пределах склонов. Вдоль ряда водотоков располагается последовательность из узких (шириной до 130 м) и неглубоких (до 1 м) ЛЗП. В истоках такие понижения лежат между бровкой склона и руслом, а при движении по течению водотока они сдвигаются ближе к бровке. В пределах водотоков, текущих на юг, ЛЗП приурочены к левому склону, а в пределах водотоков, текущих на север – к правому.

Вторая группа ЛЗП связана с денудационными процессами, происходящими на водораздельных поверхностях. Мелкие и средние по глубине (до 3 м) и округлые ЛЗП формируются в направлении нормальном (под углом 90°) к течению водотоков и параллельно линиям водоразделов. Они устанавливаются внутри бассейнов № 1 и № 2.

Третья группа ЛЗП обусловлена овражными эрозионными процессами. Локальные замкнутые понижения, относящиеся к данной группе, присутствуют в пределах водосборных бассейнов № 11 и № 27. По глубине ЛЗП (до 10 м) и анализу спутниковых снимков можно сделать вывод о развитии здесь сильной овражной эрозии.

**Выводы.** Оценка сети поверхностного стока бассейна р. Усолка позволила впервые выявить границы разнотипных водосборных бассейнов, определить локальные замкнутые понижения рельефа с повышенным увлажнением, которые могут рассматриваться в качестве источников инфильтрации атмосферных вод в надсоляную терригенно-карбонатную толщу. В случае развития интенсивных тектонических деформаций эти воды могут оказаться в горных выработках. Для предотвращения подобных явлений в будущем необходимо исследовать гидравлическую связь источников повышенной инфильтрации вод с современными тектоническими деформациями надсоляной водозащитной толщи.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макеев В. М., Макарова Н. В., Дорожко А. Л., Суханова Т. В., Коробова И. В., Бондарь И. В. Неотектоника и современная геодинамика территории Верхнекамского месторождения калийных солей // Вестник Пермского университета. 2017. Т. 16. № 4. С. 354–369.
2. О состоянии недр по территории Российской Федерации за 2015 год: информационный бюллетень. 2016. Вып. 39. 281 с.
3. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
4. Провалы грунта в Березниках. URL: <https://starcom68.livejournal.com/1016653.html> (дата обращения: 25.07.2018).
5. Берлянт А. М. Морфометрические исследования рельефа в СССР: состояние, проблемы, перспективы // Геоморфология. 1984. № 2. С. 15–17.
6. Симонов Ю. Г. Морфометрический анализ рельефа. М., Смоленск: СГУ, 1998. 272 с.
7. Jenson S. K., Domingue J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1988. No. 54 (11). P. 1593–1600.

8. Moore I. D., Grayson R. B., Ladson A. R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications // *Hydrologic Processes*. 1991. Vol. 5. No. 1. P. 3–30.

9. Tarboton D. G., Bras R. L., Rodriguez-Iturbe I. On the extraction of channel networks from digital elevation data // *Hydrological Processes*. Special Issue: Digital Terrain Modeling in Hydrology. 1991. Vol. 5. Issue 1. P. 81–100.

10. ArcGISDesktop. URL: <http://desktop.arcgis.com/> (дата обращения: 27.06.2018).

11. Карфидова Е. А., Бартак Г. И. ГИС-исследования поверхностного стока урбанизированных территорий // *ArcReview*. 2017. № 3 (82). URL: [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=25204&SECTION\\_ID=1102](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=25204&SECTION_ID=1102) (дата обращения: 27.06.2018).

12. Симонов Ю. Г., Симонова Т. Ю., Кружалин В. И. Речные бассейны как объекты исследования в эколого-геоморфологическом анализе. Эколого-геоморфологические исследования. М.: МГУ, 1995. С. 184–192.

13. Topographic Wetness Index (TWI) | GIS 4 Geomorphology. URL: <http://gis4geomorphology.com/topographic-index-model/> (дата обращения: 27.07.2018).

Поступила в редакцию 11 сентября 2018 года

**Для цитирования:** Карфидова Е. А., Makeev V. M., Kravchenko I. M. Моделирование сети поверхностного стока для обеспечения горно-геологической безопасности Верхнекамского месторождения // *Известия вузов. Горный журнал*. 2018. № 8. С. 91–101.

#### Сведения об авторах:

**Карфидова Екатерина Александровна** – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института геоэкологии имени Е. М. Сергеева РАН. E-mail: [e.karfidova@yandex.ru](mailto:e.karfidova@yandex.ru)

**Makeev Владимир Михайлович** – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геоэкологии имени Е. М. Сергеева РАН. E-mail: [vmakeev@mail.ru](mailto:vmakeev@mail.ru)

**Кравченко Илья Максимович** – стажер-исследователь Института геоэкологии имени Е. М. Сергеева РАН. E-mail: [kravchenkoilyamax@yandex.ru](mailto:kravchenkoilyamax@yandex.ru)

### MODELING THE SURFACE RUNOFF NETWORK TO ENSURE GEOLOGICAL SAFETY AT THE VERKHNEKAMSK DEPOSIT

**Karfidova E. A.<sup>1</sup>, Makeev V. M.<sup>1</sup>, Kravchenko I. M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Moscow, Russia.

**Introduction.** *The model of the surface runoff network of the Usolka river basin located within the territory of the Verkhnekamsk deposit was created to identify areas of increased moisture of the earth's surface. These areas are associated with increased infiltration of fresh surface water into the rocks and the development of suffusion and karst processes that are dangerous for mining.*

**The methodology of the research.** *The modeling was carried out in the GIS project environment using ESRI ArcGIS 10.4 software with Spatial Analyst and 3D Analyst modules. The source material for the model is geomorphological data.*

**Results and their analysis.** *As a result of modeling, a digital elevation model and a model of the surface runoff network were constructed, local closed relief depressions were identified and classified; catchment basins were mapped and classified based on their morphometric and hydrological indicators.*

**Conclusions and scope of the results.** *Modeling has allowed to reveal zones of fresh water accumulation where development of negative engineering-geological processes and phenomena is possible. The research results can be used in the design and development of mineral deposits in order to ensure geological and geoeological safety.*

**Key words:** *geomorphology; surface runoff; suffusion; karst; deposit; safety.*

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-91-101

#### REFERENCES

1. Makeev V. M., Makarova N. V., Dorozhko A. L., Sukhanova T. V., Korobova I. V., Bondar' I. V. [Neotectonics and current geodynamics at the territory of Verkhnekamsk potassium salts deposit]. *Vestnik Permskogo universiteta – Perm University Herald*, 2017, vol.16, no. 4, pp. 354–369. (In Russ.)
2. [The News Bulletin “On the State of the Subsoil at the Territory of the Russian Federation in 2015”]. 2016, issue 39. 281 p. (In Russ.)
3. Kudriashov A. I. [Verkhnekamsk potassium salt deposit]. Perm, Mining Institute of UB RAS, 2001. 429 p.
4. [Ground depressions in Berezniki]. Available at: <https://starcom68.livejournal.com/1016653.html> (Access date 25th July, 2018). (In Russ.)
5. Berliant A. M. [Morphometric study of relief in the USSR: state, problems, and prospects]. *Geomorfologiya – Geomorphology*, 1984, no. 2, pp. 15–17. (In Russ.)

6. Simonov Iu. G. [Morphometric analysis of relief]. Moscow, Smolensk, SSU Publ., 1998. 272 p.
7. Jenson S. K., Domingue J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, no. 54 (11), pp. 1593–1600.
8. Moore I. D., Grayson R. B., Ladson A. R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrologic Processes*, 1991, vol. 5, no. 1, pp. 3–30.
9. Tarboton D. G., Bras R. L., Rodriguez-Iturbe I. On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes. Special Issue: Digital Terrain Modeling in Hydrology*, 1991, vol. 5, issue 1, pp. 81–100.
10. ArcGISDesktop. Available at: <http://desktop.arcgis.com/> (Access date 27th June, 2018).
11. Karfidova E. A., Batrak G. I. [Drain net modeling for urban territories with GIS]. *ArcReview*, 2017, no. 3 (82). Available at: [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=25204&SECTION\\_ID=1102](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=25204&SECTION_ID=1102) (Access date 27th June, 2018). (In Russ.)
12. Simonov Iu. G., Simonova T. Iu., Kruzhalin V. I. [River basins as the subjects of investigation in ecological-geomorphological analysis. Ecological-geomorphological investigations]. Moscow, MSU Publ., 1995, pp. 184–192.
13. Topographic Wetness Index (TWI) | GIS 4 Geomorphology. Available at: <http://gis4geomorphology.com/topographic-index-model/> (Access date 27th July, 2018).

#### Information about authors:

**Karfidova Ekaterina Aleksandrovna** – Candidate of Geographical Science, leading researcher of Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS. E-mail: [e.karfidova@yandex.ru](mailto:e.karfidova@yandex.ru)  
**Makeev Vladimir Mikhailovich** – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, senior researcher of Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS. E-mail: [vmakeev@mail.ru](mailto:vmakeev@mail.ru)  
**Kravchenko Il'ia Maksimovich** – trainee researcher of Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS. E-mail: [kravchenkoilyamax@yandex.ru](mailto:kravchenkoilyamax@yandex.ru)

---

## НОВЫЙ ПОДХОД К РЕКУЛЬТИВАЦИИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

ИВАНОВА Н. С.<sup>1</sup>, ШИПИЛОВА Е. В.<sup>1</sup>, МАКАРОВ А. Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

***Целью работы** является создание нового подхода к мероприятиям по восстановлению нарушенных земель горнодобывающей отрасли, включающего разработку методологий активизации процессов самовосстановления и формирования биологически активной почвенной среды. В аспекте современных взаимоотношений горного дела с окружающей средой проблему рекультивации нарушенных земель стоит рассматривать в рамках более широкого понятия «рекультивация окружающей среды».*

***Методология** исследования включает в себя оценку необходимости и целесообразности внедрения оптимизированных систем управления качеством нормативно-правового регулирования и ужесточения контроля за выполнением обязательств по проведению рекультивационных мероприятий, а также разработку принципов, на которых должно базироваться планирование рекультивации, сопровождаемое в обязательном порядке мониторингом ресурсовозобновления.*

***Областью применения результатов исследования** является экологическое развитие региона, где для обеспечения устойчивого развития территорий необходимо принимать во внимание воздействие текущих горных работ на окружающую среду. Наибольшими негативными последствиями, вплоть до необратимых изменений по отношению к природным ландшафтам, отличаются промышленные и горнопромышленные ландшафты.*

***Выводы.** Внедрение концептуального подхода к рекультивации окружающей среды с точки зрения современных представлений о качестве восстанавливаемых природных ресурсов есть первый и необходимый шаг к реализации рационального использования земельных ресурсов с учетом взаимосвязей с природно-климатическими, социально-экономическими и экологическими условиями.*

***Ключевые слова:** горнопромышленные ландшафты; рекультивация; природообустройство; рациональное использование земельных ресурсов; устойчивое развитие территорий.*

**Введение.** К началу нового тысячелетия стало очевидным, что потребление природных ресурсов планеты, являясь основой существования и развития цивилизации, послужило причиной глобального экологического кризиса, преодоление которого требует выработки нового мировоззрения в определении масштабов природопользования.

Осознание глобального характера экологических проблем, вызванных потреблением минеральных ресурсов в неограниченных масштабах, определяет стратегию развития горнодобывающей отрасли, заключающуюся в снижении техногенной нагрузки на природную среду при повышении эффективности добычи и переработки минерального сырья [1].

В силу масштабности разрушения педосферы Земли проблема рекультивации нарушенных земель должна рассматриваться не как возвращение их в хозяйственный оборот, а как восстановление экосистемных функций территории для сохранения устойчивого состояния биосферы. Экологическое развитие региона «может быть выражено через изменение таких показателей, как загрязнение окружающей среды, уровень использования природных факторов» [2].



Экологический фактор в настоящее время является одной из важных движущих сил развития общества, задающих определенный темп устойчивого и эффективного развития изменений его характеристик [3, 4]. Для обеспечения устойчивого развития территорий необходимо принимать во внимание воздействие на окружающую среду производимых горных работ. Наибольшими негативными последствиями, вплоть до необратимых изменений по отношению к природным ландшафтам, отличаются промышленные ландшафты и их разновидность – горнопромышленные ландшафты.

После завершения горных работ на нарушенных территориях должно осуществляться восстановление, то есть рекультивация. Рекультивация земель – это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества. Любое строительство, добыча полезных ископаемых, геологоразведка не могут начинаться, пока не будет разработан проект рекультивации нарушенного почвенного покрова. Таким образом, рекультивация земель представляет собой одну из самых эффективных мер в решении вопросов рационального использования земельных ресурсов и проблемы охраны окружающей среды в целом. Рекультивации подлежат все земли, претерпевающие изменения в рельефе, почвенном покрове, материнских и подстилающих породах, которые происходят или уже произошли в процессе горных работ.

Комплекс рекультивационных мероприятий «должен обеспечить благоприятную среду обитания за счет регулирования состава и чистоты атмосферы, создания благоприятного рельефа местности, прекращения эрозионных процессов, регулирования водообеспечения и других факторов окружающей среды» [5]. То есть цель рекультивации – обеспечение экологической безопасности территории деятельности горного предприятия.

Вопросы, связанные с рекультивацией нарушенных земель, достаточны актуальны для многих субъектов Российской Федерации. С одной стороны, актуальность обусловлена региональной спецификой экономики, сформировавшейся в результате «последовательного развития горнодобывающих, перерабатывающих и машиностроительных производств» [6], что оказало значительное влияние на экологию региона, в частности на процессы образования большого количества нарушенных земель. С другой стороны, интерес к рекультивации можно объяснить задачами ресурсосбережения [7].

**Цель работы.** Согласно проведенному анализу состояния окружающей среды в районах размещения крупных горнопромышленных комплексов России, возможности устойчивого функционирования природных экосистем в условиях многолетних интенсивных антропогенных нагрузок (включая техногенные) недостаточно изучены и намного превосходят пределы, которые определены существующими уровнями воздействия. Проведенные исследования показали, что даже в условиях двухсотлетнего и более техногенного воздействия горно-металлургических производств природные экосистемы, плавно трансформируясь, еще сохраняют способность функционировать [8]. В связи с этим при планировании природоохранных мероприятий необходимо учитывать естественные возможности природных экосистем к самовосстановлению, что позволяет оптимизировать затраты на восстановление нарушенных экосистем.

В современном аспекте взаимоотношений горного дела с окружающей средой проблему рекультивации нарушенных земель стоит рассматривать в рамках более широкого понятия «рекультивации окружающей среды». Возникает необходимость создания нового подхода к мероприятиям по возобновлению нарушенных земель горнодобывающей отрасли, включающего разработку методов

активизации процессов самовосстановления и формирования биологически активной почвенной среды.

**Методология** исследования включает в себя оценку необходимости и целесообразности внедрения оптимизированных систем управления качеством нормативно-правового регулирования и ужесточения контроля за выполнением обязательств по выполнению рекультивационных мероприятий, а также разработку принципов, на которых должна базироваться разработка планов рекультивации, сопровождаемых в обязательном порядке мониторингом ресурсовозобновления.

**Область применения результатов исследования.** Рекультивация земель как составная часть природообустройства заключается в восстановлении свойств компонентов природной среды и самих компонентов, нарушенных человеком в процессе природопользования, функционирования техноприродных систем и другой антропогенной деятельности для последующего их использования и улучшения экологического состояния окружающей среды.

Вид использования земель после рекультивации и технология рекультивации зависят от природных условий, социальной необходимости и экономической целесообразности. Выбор направления дальнейшего использования рекультивированных земель зависит от пригодности нарушенной территории к использованию в тех или иных сферах хозяйственной деятельности.

Главной целью рекультивации является воссоздание продуктивности нарушенных территорий и возвращение их в использование, рекультивация предусматривает проведение комплекса инженерных, горнотехнических, мелиоративных, сельскохозяйственных и лесохозяйственных работ. Рекультивация земель проводится последовательно в два этапа: технический и биологический. На первом этапе производится подготовка нарушенных земель к ликвидации последствий антропогенной деятельности, создание благоприятных планировочных, ландшафтных, гидрологических, грунтовых условий для последующего освоения нарушенных земель и решения задач биологической рекультивации. На втором этапе осуществляются восстановление почвенного плодородного слоя, озеленение, мелиоративные работы, биологическая очистка почв, фиторекультивационные работы [9].

После этого осуществляются биологическая рекультивация и переход к функциональному использованию рекультивированных территорий. Работы на этом этапе направлены на окончательное восстановление плодородия и биологической продуктивности нарушенных земель и создание благоприятного водно-воздушного и питательного режимов почвы для сельскохозяйственных и лесных культур.

Однако перечисленные мероприятия, входящие в комплекс рекультивационных работ, являются достаточно дорогостоящими, энергоемкими и трудозатратными. В связи с этим успешная рекультивация карьеров должна стать объектом финансового интереса горнодобывающих компаний. Получение лицензии на проведение работ как для отрасли в целом, так и для отдельных компаний должно гарантировать, что земли, используемые для разработки карьеров, будут подлежать эффективной рекультивации с учетом потребностей и ожиданий заинтересованных сторон, а также региональных и местных требований по планированию. Компании, применяющие лучшие практики в этой сфере, смогут ожидать получение значительных выгод, в том числе конкурентных преимуществ и долгосрочных перспектив своей деятельности, что несопоставимо более значимо, чем краткосрочные финансовые затраты на программы рекультивации [10].

Таким образом, необходимо внедрить идею о признании горнодобывающими компаниями своей ответственности за эффективное управление и реабилитацию

карьеров, которые они эксплуатируют. В знак признания своей ответственности компании-участники должны взять на себя обязательство составлять планы реабилитации для эксплуатируемых карьеров и производственных зон, обсуждать эти планы со всеми заинтересованными сторонами. Выполнение данных обязательств должно быть оценено с помощью индикатора эффективности выполняемых рекультивационных работ.

Новое представление о восстановлении используемых человеческим обществом природных ресурсов говорит о необходимости и целесообразности внедрения оптимизированных систем управления качеством нормативно-правового регулирования и ужесточения контроля за выполнением обязательств по проведению рекультивационных мероприятий [11]. Принципы, на которых должна базироваться разработка плана рекультивации, представлены на рис. 1.

Ранний старт	Планы рекультивации горнопромышленных ландшафтов должны составляться до начала добычи полезных ископаемых на новых объектах
Направление разработки	Оценка дальнейшего использования земли должна осуществляться с учетом социальных, экономических и экологических потребностей местного сообщества
Подготовка рекомендаций по рекультивации	Определение рекомендаций должно подбираться с учетом соблюдения всех норм действующего законодательства
Оценка исходных условий	Требуется оценка исходных условий, которые могут подвергнуться изменениям в результате эксплуатации карьера
План мониторинга	План рекультивации также должен включать план мониторинга, как одну из важных составляющих процесса ресурсозобновления, и, при необходимости, соответствующие меры корректировки

Рис. 1. Принципы разработки плана рекультивации  
Fig. 1. The principles of developing the revegetation plan

Неполнота правового регулирования не позволяет эффективно реализовывать уже существующие нормы рекультивации, что влечет за собой возникновение заброшенных нарушенных земель, которые приносят экологический ущерб близлежащим территориям. Законодательство о рекультивации земель в большинстве случаев ограничивается тем, что декларирует в общей форме необходимость соблюдения правил в области использования земель при проведении горных работ [10, 12]. Наличие в законодательстве только общих норм, устанавливающих ответственность за несоблюдение его требований по использованию участков, не решает проблемы правового регулирования отношений по рекультивации земель.

Реализация плана рекультивации объекта после окончания работ должна сопровождаться мониторингом ресурсозобновления. План мониторинга должен быть направлен на выявление эффективности проведенных работ с учетом временного фактора, а также наблюдение за «вживанием» рекультивированных земель в локальную экосистему и, при необходимости, включать в себя соответствующие меры корректировки. Такой подход позволяет значительно сократить время негативного влияния техногенных ландшафтов на природную среду, ускорить возвращение нарушенных территорий в социально-эколого-экономически устойчивое состояние.

**Выводы.** Внедрение концептуального подхода к рекультивации окружающей среды с точки зрения современных представлений о качестве восстанавливаемых природных ресурсов есть первый и необходимый шаг к реализации рационального использования земельных ресурсов с учетом взаимосвязей с природно-климатическими, социально-экономическими и экологическими условиями.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Месяц С. П., Волкова Е. Ю. Современный взгляд на рекультивацию породных отвалов горнодобывающей отрасли // ГИАБ. 2015. № 56. С. 467–477.
2. Молев М. Д., Дуванская Е. В., Алехина Е. С. Эффективная сфера услуг в системе базовых факторов устойчивого развития региона: монография. Шахты: ЮРГУЭС, 2009. 132 с.
3. Молев М. Д., Меркулова М. А., Молев А. М. Основные аспекты развития региональной социально-эколого-экономической системы // ГИАБ. 2012. № 8. С. 292–295.
4. Lebedev Y. V., Belov V. V., Lebedeva T. A., Kokarev K. V. Methodology and scientific-technological principles of complex solution of ecological, economic and social problems in mining of natural and technogenic deposits in industrial region. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015. Bulgaria. 2015. 18–24 June. P. 333–341.
5. Чайкина Г. М., Обьедкова В. А. К вопросу о приоритетных направлениях и районировании рекультивации нарушенных земель // ГИАБ. 2001. № 1. С. 146–148.
6. Техногенное минеральное сырье Урала / В. А. Перепелицын [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. С. 16–27.
7. Вегнер-Козлова Е. О., Гуман О. М. Актуальные вопросы законодательства по рекультивации нарушенных земель // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2015. № 4. С. 61–65.
8. Калабин Г. В. Методологические подходы к оценке реабилитации нарушенных территорий горнопромышленных центров // Горный журнал. 2009. № 10. С. 90–93.
9. Иванова Н. С., Шипилова Е. В. Рекультивация и землевание как эффективное восстановление горнопромышленных ландшафтов // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: матер. XXIII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2018. С. 461–463.
10. Иванова Л. В. Зарубежный опыт решения проблем рекультивации земель, нарушенных в процессе недропользования // ГИАБ. 2015. № 56. С. 491–498.
11. Anufriev V. P., Belov V. V., Lebedev Y. V. Multi-objective optimization of complex subsoil use issues. 5th International Conference on the political, technological, economic and social processes. London. 2015. 23–29 July. P. 16–25.
12. Lebedev Y. V., Valiev N. G., Lebedeva T. A., Kokarev K. V. The methodology and system monitoring principles of a comprehensive assessment in forest lands. 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017, 29 June–5 July, 2017, Bulgaria. Conference proceedings. Vol. 17. P. 991–998.

Поступила в редакцию 15 мая 2018 года

**Для цитирования:** Иванова Н. С., Шипилова Е. В., Макаров А.Б. Новый подход к рекультивации горнопромышленных ландшафтов // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 102–107.

**Сведения об авторах:**

**Иванова Нина Сергеевна** – аспирант кафедры геодезии и кадастров Уральского государственного горного университета. E-mail: ivanovan2305@yandex.ru

**Шипилова Екатерина Владимировна** – старший преподаватель кафедры геодезии и кадастров Уральского государственного горного университета. E-mail: svamicat@mail.ru

**Макаров Анатолий Борисович** – доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: fgg.gpr@m.ursmu.ru

**RECUITIVATION OF MINING LANDSCAPES: NEW VIEW**

**Ivanova N. S.<sup>1</sup>, Shipilova E. V.<sup>1</sup>, Makarov A. B.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

**Research aim** is to create a new approach to the activities on disturbed land reclamation at mining industry, including the development of methodologies of self-regeneration processes activation and bioactive soil medium formation. In the modern aspect of relationship between mining and the environment, the problem of disturbed land reclamation should be considered within a wider concept of "environmental revegetation".

**Research methodology** includes the estimation of need and advisability of introducing optimized control systems over the quality of normative and legal regulation and tightening control over the implementation of obligations for land revegetation, as well as the development of principles which should be a base for land reclamation planning, necessarily accompanied by resources regeneration monitoring.

**Research results application area** consists in the region's environmental development, where in order to ensure sustainable territories development it is necessary to take into account the impact of current mining activities on the environment. The greatest negative consequences, up to some irreversible changes in landforms, are notable for industrial and mining landscapes.

**Conclusions.** The implementation of a conceptual approach to environmental revegetation from the point of view of modern ideas on the quality of the regenerated natural resources is the first and essential step towards rational use of land resources with the account of connections with the natural-climatic, social-economic, and ecological conditions.

**Key words:** mining landscapes; revegetation; environmental engineering, rational use of land resources; sustainable development of territories.

The article has been prepared with the support and within the framework of RFBR grant no. 17-06-00433.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-102-107

#### REFERENCES

1. Mesiats S. P., Volkova E. Iu. [Modern view on waste dumps revegetation in mining industry]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, no. 56, pp. 467–477.
2. Molev M. D., Duvanskaia E. V., Alekhina E. S. [Effective service in the system of fundamentals of a region's sustainable development: monograph]. Shakhty, South Russian State University of Economics and Service Publ., 2009. 132 p.
3. Molev M. D., Merkulova M. A., Molev A. M. [The basic aspects of developing regional social-ecological-economic system]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2012, no. 8, pp. 292–295. (In Russ.)
4. Lebedev Y. V., Belov V. V., Lebedeva T. A., Kokarev K. V. Methodology and scientific-technological principles of complex solution of ecological, economic and social problems in mining of natural and technogenic deposits in industrial region. 15th International Multidisciplinary Scientific Goeconference SGEM 2015. Bulgaria, 2015, 18–24 June, pp. 333–341.
5. Chaikina G. M., Ob'edkova V. A. [On the question of the priority directions and classification of disturbed land revegetation]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2001, no. 1, pp. 146–148. (In Russ.)
6. Perepelitsyn V. A., and others. [Technogenic mineral raw material of the Urals]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2013, pp. 16–27.
7. Vegner-Kozlova E. O., Guman O. M. [Current legislation issues on mined-land reclamation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2015, no. 4, pp. 61–65. (In Russ.)
8. Kalabin G. V. [Methodological approaches to the estimation of disturbed land reclamation in mining centers]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2009, no. 10, pp. 90–93. (In Russ.)
9. Ivanova N. S., Shipilova E. V. [Revegetation and earthing as efficient reclamation of mining landscapes. Proc. 23rd Internat. Sci-to-Pract. Conf. “Scientific Fundamentals and the Practice of ore and technogenic raw material processing”]. Ekaterinburg, Fort Dialog-Iset' Publ., 2018, pp. 461–463. (In Russ.)
10. Ivanova L. V. [Foreign experience of solving the problem of revegetating the soil disturbed in the process of the subsoil use]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, no. 56, pp. 491–498. (In Russ.)
11. Anufriev V. P., Belov V. V., Lebedev Y. V. Multi-objective optimization of complex subsoil use issues. 5th International Conference on the political, technological, economic and social processes. London, 2015, 23–29 July, pp. 16–25.
12. Lebedev Y. V., Valiev N. G., Lebedeva T. A., Kokarev K. V. The methodology and system monitoring principles of a comprehensive assessment in forest lands. 17th International Multidisciplinary Scientific Goeconference SGEM 2017, 29 June–5 July, 2017, Bulgaria. Conference proceedings. Vol. 17. P. 991–998.

#### Information about authors:

**Ivanova Nina Sergeevna** – PhD student at the Department of Geodesy and Cadastres, Ural State Mining University. E-mail: ivanovan2305@yandex.ru

**Shipilova Ekaterina Vladimirovna** – senior lecturer at the Department of Geodesy and Cadastres, Ural State Mining University. E-mail: svamicat@mail.ru

**Makarov Anatolii Borisovich** – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, professor of the Department of Geology, prospecting and exploration of mineral deposits, Ural State Mining University. E-mail: fgg\_gpr@m.ursmu.ru

## СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСОВ И ПРОИЗВОДСТВА СВИНЦА И ЦИНКА В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ

АРХИПОВ Г. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук  
(Россия, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51)

**Цель работы.** Анализ и оценка современного состояния использования ресурсов свинца и цинка Дальневосточного региона, месторождения которых разрабатываются на территории Приморского края в течение многих лет.

**Методика.** Для оценки возможности или необходимости использования дальневосточных ресурсов свинца и цинка в отечественной свинцово-цинковой промышленности или экспорте их добычи использовано сравнение с данными о минерально-сырьевой базе свинца и цинка, их производстве, потребности и использовании в России и в мире, сопоставлены данные о ресурсах Дальневосточного региона, России и мира.

**Результаты и их анализ.** В регионе имеются достаточно существенные запасы и ресурсы свинца и цинка для создания региональной свинцово-цинковой промышленности. Необходимо развивать внутрирегиональное использование сырья до производства конечной продукции. Настоящее состояние отрасли нуждается в инновационном развитии и новой структурной организации.

**Выводы.** Потенциал минерально-сырьевых ресурсов свинца и цинка в регионе при наличии эффективной стратегии их использования может внести вклад в ускоренное развитие Дальнего Востока и стать одним из факторов изменения геополитического значения восточной части России.

**Ключевые слова:** свинец; цинк; месторождения; ресурсы; добыча; оценка; Дальневосточный регион.

По оценке ведущих НИИ и Роснедра Министерства природных ресурсов и экологии (МПР) РФ, выявленные в Дальневосточном регионе месторождения содержат около 4 % национального богатства недр России [1]. Количество только рудных месторождений достигает 1200. Освоение рудных минеральных ресурсов на территории региона придает определенную динамику его социально-экономическому развитию, обеспечивает занятость населения, позволяет делать отчисления в бюджеты различных уровней, имеет градообразующее значение. Анализ уровня и полноты использования выявленных природных минерально-сырьевых ресурсов с учетом их потенциала закономерно принадлежит важное место в исследованиях экономики региона. Выбор ресурсов свинца и цинка определен тем, что эти полезные ископаемые разрабатываются на территории Приморского края в течение многих десятилетий и их анализ имеет практическое значение.

Месторождения, в которых содержатся свинец и цинк, показаны на рис. 1 и в табл. 1 [2, 3]. На территории Приморского края находится более 20 разведанных месторождений свинца и цинка. Месторождения Николаевское, Партизанское, Порфириновая зона, Верхнее, Южное, Светлый отвод, Майминовское принадлежат ГМК «Дальполиметалл» и разрабатываются. Месторождение Вознесенское принадлежит компании «Русал» как плавиковошпатовое, разрабатывается, но цинковые руды складываются без переработки (с 2013 г. разработка месторождения приостановлена для модернизации производства). Большая часть не распределенных сейчас месторождений (Арсеньевское, Верхнее, Силинское, Смирновское, Щербаковское и др.) ранее разрабатывалась на тот или иной вид сырья или на комплекс компонентов, в том числе на олово, свинец, цинк, медь.

Запасы свинца в крае составляют более 1,5 млн т, цинка – 2,2 млн т. Ресурсы свинца оценены в 1,6 млн т, цинка – в 2,5 млн т. Около половины запасов содержит месторождение Николаевское. Содержание свинца в его рудах колеблется от 1,5 до 8,7 %, цинка – от 1,96 до 7,22 %. Руды содержат и другие извлекаемые полезные компоненты: медь, кадмий, висмут, олово, индий, серебро.



Рис. 1. Месторождения, рудные районы и перспективные на свинец и цинк зоны Дальневосточного региона. На врезке – Дальнегорский рудный район:

цифрами обозначены районы и зоны: I – Крестовая; II – Беринговская и Чегутунская; III – Чаплинская; IV – Берелехский; V – Седян-Куельская; VI – Тас-Хайахтахская; VII – Таскано-Омулевская и Приколымская; VIII – Юдомо-Майская; IX – Челасино-Малтанская; X – Аяно-Шевлинская; XI – Чагойанский; XII – Козлово-Кроноцкий; XIII – Асача-Лопткинская; XIV – Курильская; XV – Среднесахалинская; XVI – Шебунинская; XVII – Анивская; XVIII – Самаргинская; XIX – Колумбе-Малиновская; XX – Уссурийская; XXI – Верхнеуссурийский; XXII – Ханкайская; XXIII – Дальнегорская; XXIV – Посъетская [4]

Fig. 1. Deposits, ore districts and prospective zone regarding lead and zinc in the Far East region. In the insert – Dal'negorsky ore district:

the numbers indicate regions and zones: I – Krestovaia; II – Beringovskaia and Chegutunskaiia; III – Chaplinskaiia; IV – Berelekhskii; V – Sedian-Kuel'skaia; VI – Tas-Khaiaktakhkaia; VII – Taskano-Omulevskaiia and Prikolymskaia; VIII – Iudomo-Maiskaia; IX – Chelasino-Maltanskaia; X – Aiano-Shevlińskaia; XI – Chagoianskii; XII – Kozlovo-Kronotskii; XIII – Asacha-Loptkinskaia; XIV – Kuril'skaia; XV – Srednesakhalińskaia; XVI – Shebuninskaiia; XVII – Anivskaia; XVIII – Samarginskaiia; XIX – Kolumbe-Malinovskaia; XX – Ussuriiskaia; XXI – Verkhneussuriiskii; XXII – Khankaiskaia; XXIII – Dal'negorskaia; XXIV – Pos'etskaia [4]

Ведущим предприятием по добыче и переработке свинцово-цинковых руд в крае является горно-металлургическая компания «Дальполиметалл», которая кроме рудников имеет предприятия «Центральная обогатительная фабрика» и

«Свинцовый завод». Годовая добыча руды компанией в прежние годы достигала 955 тыс. т, в том числе на руднике Николаевский – до 500 тыс. т. Обогажительная фабрика имеет фактическую годовую производительность более 700 тыс. т руды (проектная 1200 тыс. т) и производит свинцовый (более 12 тыс. т) и цинковый (более 19 тыс. т) концентраты, попутно в свинцовый концентрат извлекаются серебро, висмут, медь, в цинковый – серебро и кадмий. Мощность обогажительной фабрики позволяет выпускать не менее 20 тыс. т свинца и 32 тыс. т цинка в концентрате. На предприятии «Свинцовый завод» в конце 1990-х гг. из концентратов

**Таблица 1. Основные месторождения свинца и цинка Дальневосточного региона\***  
**Table 1. The main deposits of lead and zinc in the Far East region**

Месторождение	Запасы, тыс. т		Месторождение	Запасы, тыс. т	
	свинца	цинка		свинца	цинка
<i>Приморский край</i>			Ново-Монастырское	5	11
Николаевское	608	684	Придорожное	1	0,5
Партизанское	125	344	Вознесенское	–	210
Зимнее	140 (115)	206 (169)	<i>Республика Саха (Якутия)</i>		
Красногорское	124	182	Сардана	592	1926
Щербаковское	121 (117)	89 (82)	Прогноз	145	35
Смирновское	93 (85)	134 (123)	Верхне Менкече	143	174
Фасольное	92	111	Зарница	135	132
Южное	88	87	Кутинское	65	47
Встречное	38	42	<i>Хабаровский край</i>		
Светлый отвод	37	37	Фестивальное	4,4	1,9
Силинское	26 (19)	36 (26)	Перевальное	21	–
Левицкое	26	35	Придорожное	0,7	0,5
Майминовское	61	72	Джатонское	56	93
Порфириновая зона	14	24	Ниванджинское	31	29
Второе Советское	7	13	<i>Магаданская область</i>		
Дальнетаежное	7	11	Дукатское	83	80
Августовское	6	11	Гольцовое	66	14
Арсеньевское	2	5	Мечта	32	34
Верхний рудник	1	5	Тидид	19	28

\* Данные ВСЕГЕИ, ИАЦ «Минерал» и др. источников (округлены); в скобках указаны остаточные запасы на начало 2013 г.

производился свинец; цинк завод не выпускал. В перспективе предполагалась реконструкция завода с увеличением мощности по выпуску свинца до 78,8 тыс. т в год. Однако по экономическим причинам план не был осуществлен, и производство свинца из первичных руд сократилось до 1,4 тыс. т. Завод перешел на производство свинца из аккумуляторного лома. Этот вторичный свинец (объемом около 1 тыс. т в год, а планировалось довести его количество до 10 тыс. т в год) отправляется в основном на аккумуляторный завод в г. Комсомольск-на-Амуре. Весь производимый объем свинцового и цинкового концентратов предприятие экспортирует в Республику Корею, Японию, Китай.

Минерально-сырьевая база ГК «Дальполиметалл» сосредоточена на близлежащей территории. Ресурсы свинца и цинка, по данным компании, показаны в табл. 2.



Возможность прироста запасов существует на всех месторождениях, эксплуатируемых ГМК «Дальполиметалл», и на прилегающих площадях. Компания считает наиболее перспективным в этом отношении Партизанское месторождение. На месторождении Августовское, рудопрооявлениях Южно-Солонцовое, Сарафанное требуется доразведка. Перспективен Черемшанский рудный узел с прогнозными ресурсами в 26 млн т свинцово-цинково-серебряных руд. Названные объекты находятся в радиусе 20–40 км от обогатительной фабрики и отличаются высоким качеством руд по содержанию полезных компонентов и обогатимости. Геологоразведочные работы на свинец и цинк на названных объектах ведутся в основном за счет средств ГМК «Дальполиметалл», в меньшем объеме – за счет средств федерального бюджета. Росгеология в 2015–2017 гг. изучала перспективную на свинец, цинк, серебро Арцевскую площадь с прогнозными ресурсами 340 тыс. т свинца, 700 тыс. т цинка, 3300 т серебра.

В 2016 г. ГМК «Дальполиметалл» произвела 13 765 т свинцового концентрата и 25 512 т цинкового концентрата. Доход от продажи составил 2,5 млрд р. В 2017 г. производство было примерно на том же уровне.

**Таблица 2. Минерально-сырьевая база ГМК «Дальполиметалл»\***  
**Table 2. Mineral-raw base of MMC DALPOLIMETALL**

Категория запасов и ресурсов	Объем руды, тыс. т	Содержание		
		Свинец, %	Цинк, %	Серебро, г/т
Запасы категорий В + С <sub>1</sub> + С <sub>2</sub>	24 888	2,73	3,58	59,5
Минеральные ресурсы измеренные + указанные (по JORC)	25 204	2,72	3,57	59,7
Запасы подтвержденные + вероятные (по JORC)	25 632	1,94	2,90	47,2

\* Данные сайта компании (дата обращения – май 2018 г.)

В Республике Саха (Якутия) наибольшие запасы при высоких содержаниях свинца (среднее содержание в рудах 3,23 %) и цинка (10,5 %) имеет месторождение Сардана: запасы свинца составляют почти 600 тыс. т, цинка – более 1900 тыс. т. С 2007 г. месторождение принадлежало компании «Сибирские цветные металлы», которая предполагала выполнить разведку в течение пяти лет и начать в 2014 г. промышленное производство 300 тыс. т цинкового и 100 тыс. т свинцового концентрата ежегодно. Позже «Восточно-Сибирская компания» планировала в 2017 г. ввести в строй ГОК мощностью 500 тыс. т руды в год. Месторождение пока не разрабатывается. Запасы цинка и свинца Якутии учитываются в 5 месторождениях и составляют: цинка – более 2 млн т, свинца – 2,3 млн т. Разрабатываемых месторождений нет. Подготавливаются к освоению месторождения Прогноз (владеет компания «Прогноз-Серебро», принадлежащая канадской Silver Bear Resources), Верхне Менкече (компания «ГеоПроМайнинг»), Сардана.

В Хабаровском крае свинец и цинк содержат оловорудные месторождения Комсомольского оловорудного района. На обогатительной фабрике компании «Дальолово» свинцовые и цинковые концентраты выделялись в 1990-х гг. Накоплены значительные объемы отвальных хвостов обогащения, содержащих свинец и цинк (более 100–115 тыс. т свинца и цинка). В различных геолого-структурных зонах края выявлены многочисленные небольшие месторождения и рудопрооявления свинца и цинка (Лугун, Пуханил, Юдома, Чайтынское и др.).

В Магаданской области учтено 4 месторождения, руды которых содержат попутные свинец и цинк.

Таким образом, в регионе имеются достаточно существенные запасы и ресурсы свинца и цинка для создания региональной свинцово-цинковой промышленности. По данным организаций МПР РФ – Росгеолфонда, Информационно-аналитического центра «Минерал», ВСЕГЕИ, запасы свинца учитываются в 34 месторождениях и составляют около 2,3 млн т, запасы цинка – в 28 месторождениях, составляют более 4 млн т. Более 90 % запасов региона сосредоточены в Приморском крае. Запасы свинца находятся в 9 средних месторождениях (масштаб запасов до 1 млн т в каждом) и в более 20 мелких объектов. По цинку одно месторождение является крупным (более 1 млн т), восемь – средними (0,5–1 млн т), остальные – мелкими. Прогнозные ресурсы свинца по региону составляют около 2,6 млн т, цинка – примерно 5,2 млн т. Месторождения в основном рассредоточены на значительной площади региона, но образуют значительную концентрацию в Дальнегорском рудном районе Приморского края. Добыча в последние годы (2008–2017 гг.) составляла: по концентратам свинца – 10–16 тыс. т ежегодно, по концентратам цинка – 14–32 тыс. т. Основной объем добычи обеспечивает предприятие ГК «Дальполиметалл».

Для оценки возможности или необходимости использования дальневосточных ресурсов свинца и цинка в отечественной свинцово-цинковой промышленности приведем данные о минерально-сырьевой базе свинца и цинка, их производстве, потребности и использовании в России. Всего в России насчитывается более 100 преимущественно свинцовых и примерно 150 преимущественно цинковых месторождений (часто это одни и те же месторождения). Месторождений, содержащих более 1 млн т запасов свинца, – 3, более 1 млн т запасов цинка, – 13, они составляют более 75 % всех запасов свинца и цинка России, которые по свинцу составляют 19,5 млн т (прогнозные ресурсы – около 40 млн т), по цинку – 60,3 млн т (прогнозные ресурсы – около 110 млн т). Наибольшее количество крупных месторождений с высоким содержанием свинца и цинка (а также меди, серебра, золота и др.) находится в Алтайском крае – Корбалихинское, Зареченское, Степное, Захаровское, Таловское, Рубцовское (закрыто). Корбалихинское месторождение – одно из самых богатых по содержанию цинка: его запасы оцениваются в 26 млн т полиметаллической руды, содержащей почти 470 тыс. т свинца, 2,2 млн т цинка, 330 тыс. т меди. На его базе может работать рудник (строится) мощностью в 1,5 млн т руды в год с выпуском около 120 тыс. т цинкового и 16 тыс. т медного концентратов. Месторождения Бурятии (Озерное, Холоднинское, Назаровское, Кызыл-Таштыгское, Нойон-Тологойское) так же, как и алтайские, имеют высокие содержания полезных компонентов. С 2009 г. корпорация «Металлы Восточной Сибири» (группа «Метрополь») осваивает месторождение Озерное, запасы которого составляют по свинцу – 1,31 млн т (при содержании свинца 1,25 %), цинку – 6,9 млн т (6,57 %), серебру – 3,9 тыс. т (содержание серебра 37,6 г/т). В 2010 г. был введен в эксплуатацию ГОК мощностью 1 млн т руды в год, но выход на проектную мощность (около 45 тыс. т черного свинца в год) пока не состоялся. Задерживается освоение и других месторождений.

Добыча свинцовых руд в России составляет около 180–240 тыс. т ежегодно, производство свинцового концентрата – до 320 тыс. т, производство рафинированного свинца – до 110 тыс. т в год. Более 75 % российского свинца добывают на Горевском месторождении (Красноярский край), остальное – на Ново-Широкинском, Степном, Николаевском, Партизанском месторождениях. Перерабатывающие предприятия извлекают свинец в свинцовый и медно-свинцовый, реже в свинцово-цинковый концентрат. На долю России приходится не более 4 % мировой добычи свинца. В России нет заводов по переработке первичного свинца, поэтому руды и концентраты свинца вывозятся за рубеж. Первый отечественный

завод по производству свинца из концентратов Горевского месторождения планируется построить в г. Сорске (Республика Хакасия), строительство сдерживается из-за негативного отношения к нему местных жителей. Весь металлический свинец и его сплавы в стране получают из вторичного сырья (в основном на заводе «Электроцинк» во Владикавказе, дочернем предприятии Уральской горно-металлургической компании – УГМК). Утилизация отработанных аккумуляторов осуществляется еще рядом предприятий. В 2016 г. новый свинцовый завод мощностью 30 тыс. т перерабатываемых аккумуляторов в год был построен в Ленинградской области эстонским фондом Ecomet Invest. Более 70 % выпущенного в России металлического свинца (примерно 95 тыс. т) идет на экспорт. Россия ввозит рафинированный свинец в объеме менее 1 тыс. т. Потребление рафинированного свинца в России составляет примерно 16 тыс. т в год. Относительно небольшая внутренняя потребность России в свинце полностью удовлетворяется его производством из вторичного сырья. Стратегия развития цветной металлургии России на 2014–2020 гг. и до 2030 г. предполагает рост потребления рафинированного свинца в России не более чем на 5 % в год. Экспортные поставки прогнозируются на уровне 80–85 % от производства.

**Таблица 3. Соотношение ресурсов свинца и цинка Дальневосточного региона с российскими и мировыми, млн т**

**Table 3. Correlation of lead and zinc resources of the Far East region, Russia, and worldwide, million t**

Минеральное сырье	Мир			Россия					Дальневосточный регион		
	Резервы	Ресурсы	Годовая добыча	Запасы	Ресурсы	Доля в мировых, %	Годовая добыча	Обеспеченность	Запасы	Ресурсы	Доля в российских, %
Свинец	88	2000	4,7	19	35	20	До 0,20	Достаточная	2,3	2,6	10
Цинк	230	1900	12–13	60	100	25	До 0,36	Достаточная	4,0	5,2	5

Добыча цинка в концентратах на российских месторождениях составляет около 350–360 тыс. т в год (около 2,5 % от мировой). Основное производство обеспечивают предприятия УГМК (Гайский ГОК, Учалинский ГОК, Святогор, Башкирская медь, Уралэлектромедь, Сибирь-Полиметаллы и др.). Основным переработчиком цинковых концентратов является завод «Электроцинк», часть концентратов направляется на Челябинский цинковый завод. Производство рафинированного цинка составляет до 250 тыс. т в год (около 3 % мирового производства). Потребление рафинированного цинка в России составляет примерно 225 тыс. т в год. Цинк и сплавы на его основе потребляют сталепрокатные комбинаты, производящие оцинкованный прокат и прокат с полимерным покрытием. Экспорт цинковых руд и концентратов из России составляет 70–140 тыс. т. Основными экспортёрами являются ГМК «Дальполиметалл» и «Сибирь-Полиметаллы». Ежегодно до 50 тыс. т рафинированного цинка экспортируется из России и около 30 тыс. т в Россию ввозится.

Для представления о позиции России на мировом рынке свинца и цинка приведем данные [5] об их мировых резервах (вероятные и доказанные запасы) и ресурсах (примерно запасы категории С2 российской классификации), добыче и производстве и используем данные о мировых ценах [6], конъюнктуре [7–11]. Резервы свинца на 2018 г. составляют 88 млн т, добыча последних лет – на уровне 4,7 млн т, цинка – 230 млн т и 12,6–13,4 млн т соответственно. Ресурсы свинца

исчисляются в 2 млрд т, цинка – в 1,9 млрд т. Главным мировым производителем и потребителем свинца и цинка является Китай, далее следуют Австралия, США, Перу, Мексика. В мире насчитывается около 15 компаний, производящих свинец в концентратах в объеме 10–260 тыс. т в год и более 20 компаний, производящих цинковые концентраты в объеме 40–740 тыс. т ежегодно.

В табл. 3 показано соотношение ресурсов свинца и цинка Дальневосточного региона с российскими и мировыми.

Рынок свинца и цинка, как и весь рынок минерального сырья, подвержен циклическим колебаниям. По данным International Lead and Zinc Study Group, в мире периодически существует и дефицит, и профицит концентратов свинца и цинка в несколько десятков тыс. т, но в целом мир, а вместе с ним и Россия, надежно обеспечен на многие десятилетия свинцом и цинком. На мировом рынке свинца и цинка происходят разнонаправленные и довольно значительные колебания цен. В 2001–2017 гг. цена на свинец находилась в интервале 476–3235 дол/т (пик пришелся на 2007 г.), на цинк – 886–3235 дол/т (пик 4400 дол/т был в декабре 2006 г.). В 2016 г. 1 т свинца стоила 1819 дол, в 2017 г. – 2309 дол. Цинк в 2016 г. был самым быстрорастущим в цене промышленным цветным металлом: в течение января–октября 2016 г. его цена выросла на 60 % (на Лондонской бирже цинк стоил 2320 дол/т). Среднегодовая цена цинка в 2016 г. составила 2093 дол/т, в 2017 г. – 2896 дол/т.

**Таблица 4. Показатели производства и реализации основной продукции предприятием «Дальполиметалл» в 2013 и 2014 гг.\***

**Table 4. Indicators of manufacture and realization of basic products by Dalpolimetall in 2013 and 2014**

Продукция	Произведено продукции			Реализовано продукции				Средне- годовая цена на рынке, дол/т
	Объем, т	Стоимость, тыс. р.	Себесто- имость, р./т	Объем, т	Стои- мость, тыс. р.	Цена реализа- ции, р./т	Цена реали- зации, дол/т	
<i>2013 год</i>								
Свинцовый концентрат	14 260	1 967 298,0	74 846	15 754	1 093 000	69 379	2174	2143
Цинковый концентрат	29 709	545 793,0	18 371	29 325,1	500 599	17 071	535	1909
<i>2014 год</i>								
Свинцовый концентрат	16 368	974 798,7	59 555	15 873,6	1 118 348	70 453	1825	2094
Цинковый концентрат	29 213	590 612,8	20 217	28 559,4	691 312	24 206	627	2163

\* По данным отчетов, опубликованных на сайте; цена реализации, дол/т, рассчитана по среднегодовому курсу ЦБ в 2013 г. – 31,9063 р./дол, в 2014 г. – 38,6025 р./дол.

Учитывая приведенные данные, можно сделать некоторые выводы об использовании ресурсов региона. До 1990-х гг. Приморский край был одним из основных субъектов в СССР по производству и поставке свинцовых и цинковых концентратов, несмотря на высокую себестоимость и транспортные расходы. Современное состояние свинцово-цинковой отрасли в регионе таково, что не позволяет считать ее существенным экономическим фактором как для ДФО, так и для Приморского края, в валовом региональном продукте которого добыча полезных ископаемых составляет 2–2,5 % (большая часть этого дохода приходится на уголь), инвестиции в основной капитал по отрасли «добыча полезных ископа-

емых» – 1,4–1,8 млрд р. (из общих инвестиций по краю 123–140 млрд р.). ГК «Дальполиметалл» стремится укрепить свою позицию в горно-металлургической отрасли. Однако по данным отчетов предприятия за 2013 г. и 2014 г. видно, что его положение нестабильно, несмотря на случающиеся не только отрицательные (падение цен на минеральное сырье), но и положительные (падение курса рубля по отношению к доллару) изменения конъюнктуры (табл. 4).

Существенно поддержать свинцово-цинковую отрасль региона можно в случае разведки новых месторождений с рудами высокого качества. Несмотря на имеющиеся сложности, использование ресурсов свинца и цинка региона имеет благоприятные перспективы для инновационного развития. Очевидно, что необходимо строительство собственных металлургических предприятий по переработке концентратов для внутрирегионального использования сырья до изготовления конечной пользовательской продукции. В регионе вследствие его пространственной и экономической изоляции можно создавать новые промышленные отрасли, для которых есть сложившиеся материальные основы и предпосылки – минерально-сырьевые ресурсы рудных полезных ископаемых и спрос на многие виды металлопродукции. Основываясь на том, что добыча свинца и цинка в регионе – традиционный и «самодостаточный», несмотря на существующие проблемы, вид деятельности, можно сделать вывод о необходимости кардинальных решений и по вопросам новой организации отрасли, управления специализированным и многоотраслевым холдингом, который взял бы в сферу своих интересов все известные и перспективные месторождения и объекты свинца и цинка, включая их оценку, разведку, создание современной базы их переработки (возможно, на основе активов компании «Дальполиметалл» или новой базы высоких технологий в Комсомольском районе Хабаровского края в комплексе с оловянным, медным, никелевым, редкометалльным производствами), а также производство конечной продукции. О строительстве в районе Солнечного ГОКа в Хабаровском крае химико-металлургического производства с получением широкой номенклатуры продуктов на основе полиметаллических руд месторождений Дальнего Востока и Забайкалья говорилось еще в 1982 г. [12]. Как считают эксперты, потенциал минерально-сырьевых ресурсов региона, в том числе свинца и цинка, при наличии эффективной стратегии их использования может стать значительным фактором изменения геополитического значения восточной части России и это необходимо учитывать в отношении стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богатство недр России. Минерально-сырьевой и стоимостный анализ: пояснительная записка к геолого-экономическим картам. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 550 с.
2. Nokleberg W. J., Bundtzen T. K., Eremin R. A., et al. Metallogenesis and Tectonics of the Russian Far East, Alaska, and the Canadian Cordillera // USGS Professional Paper. 2005. Vol. 1697. 428 p.
3. Архипов Г. И. Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока. Стратегическая оценка возможностей освоения. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. 820 с.
4. Металлогения Дальнего Востока России / В. И. Сухов [и др.]. Хабаровск: Дальневосточный НИИ минерального сырья, 2000. 217 с.
5. Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey. URL: <https://doi.org/10.3133/70194932> (дата обращения 30.04.2018).
6. MetalMiner. Sourcing & Trading Intelligence for Global Metals Markets. URL: <https://agmetalminer.com/zinc-price> (дата обращения 20.05.2018).
7. Politics and economics in the Russian Far East: changing ties with Asia-Pacific. Edited by Tsuneo Akaha. Publisher: Routledge, 2002. 256 p.
8. Russia and East Asia: informal and gradual integration. Edited by Anna Vasilieva, Tsuneo Akaha. Publisher: Routledge, 2014. 320 p.
9. Иванов А. В. Сибирь и Дальний Восток в интеграционных процессах АТР в новых условиях // Ежегодник ИМИ МГИМО. 2015. Вып. 4 (14). С. 16–21.
10. Архипов Г. И. Проблемы горнорудной отрасли Дальневосточного региона // Региональная экономика: теория и практика. 2016. № 6. С. 33–41.

11. Иванов А. И., Вартанян С. С., Черных А. И., Волчков А. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Состояние и перспективы развития МСБ меди, цинка и свинца России // Разведка и охрана недр. 2016. № 9. С. 100–106.

12. Усков М. Е., Мардоян А. С., Мелик-Степанов Ю. Г. Вопросы развития черной и цветной металлургии в Хабаровском крае // Проблемы и основные направления комплексного развития и размещения производительных сил Хабаровского края до 2000 г.: науч.-практ. конф. Хабаровск, 1982. С. 15–17.

Поступила в редакцию 29 июня 2018 года

Для цитирования: Архипов Г. И. Современная оценка ресурсов и производства свинца и цинка в Дальневосточном регионе // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 108–117.

#### Сведения об авторах:

**Архипов Геннадий Иванович** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института горного дела Дальневосточного отделения РАН. E-mail: arhipov@igd.khv.ru

### MODERN ASSESSMENT OF LEAD AND ZINC RESOURCES AND PRODUCTION IN THE FAR EAST REGION

**Arkhipov G. I.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining FEB RAS, Khabarovsk, Russia.

**Research aim** is to analyze and assess the modern state of lead and zinc resources use in the Far East region, the deposits of which are mined at the territory of Primorsky Krai within many years.

**Methodology.** In order to assess the possibilities and need for the use of the Far East resources of lead and zinc in the national lead-zinc industry or the export of their extraction, the comparison have been used with the data on mineral-raw base of lead and zinc, their production, need, and application in Russia and in the world, data on the resources of the Far East region, Russia, and worldwide have been compared.

**Results and analysis.** The region possesses significant reserves and resources of lead and zinc for the creation of the regional lead-zinc industry. It is necessary to develop the intraregional use of the raw material up to the final product manufacture. The present state of the branch needs innovative development and new structural organization.

**Conclusions.** The potential of lead and zinc mineral-raw resources in the region with the presence of efficient strategy of their use can contribute to the accelerated growth of the Far East and become one of the factors to change the geopolitical significance of the eastern part of Russia.

**Key words:** lead; zinc; deposits; extraction; assessment; the Far East region.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-108-117

#### REFERENCES

- [The wealth of Russian subsoil. Mineral-raw and value analysis: explanatory note to geological-economic maps]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2007. 550 p. (In Russ.)
- Nokleberg W. J., Bundtzen T. K., Eremin R. A., et al. Metallogenesis and tectonics of the Russian Far East, Alaska, and the Canadian Cordillera. *USGS Professional Paper*, 2005, vol. 1697. 428 p.
- Arkhipov G. I. [Mineral resources of ore mining industry of the Far East. Strategic assessment of exploitation possibilities]. Khabarovsk, IM FEB RAS, 2017. 820 p.
- Sukhov V. I., Bakulin Iu. I., Loshak N. P., and others. [Metallogeny of the Russian Far East]. Khabarovsk, Far Eastern Scientific and Research Institute of Mineral Raw Materials Publ., 2000. 217 p.
- Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey. Available at: <https://doi.org/10.3133/70194932> (Access date 30.04.2018).
- MetalMiner. Sourcing & Trading Intelligence for Global Metals Markets. Available at: <https://agmetminer.com/zinc-price> (Access date 20.05.2018).
- Politics and economics in the Russian Far East: changing ties with Asia-Pacific. Edited by Tsuneo Akaha. Publisher, Routledge, 2002. 256 p.
- Russia and East Asia: informal and gradual integration. Edited by Anna Vasilieva, Tsuneo Akaha. Publisher, Routledge, 2014. 320 p.
- Ivanov A. V. [Siberia and the Far East in the Asia-Pacific integration processes with regard to economic sanctions against Russia]. *Ezhгодnik IMI MGIMO – IIS Yearbook*, 2015, issue 4 (14), pp. 16–21. (In Russ.)
- Arkhipov G. I. [The problems of ore mining branch of the Far East region]. *Regional'naiia ekonomika: teoriia i praktika – Regional Economics: Theory and Practice*, 2016, no. 6, pp. 33–41. (In Russ.)

11. Ivanov A. I., Vartanian S. S., Chernykh A. I., Volchkov A. G., Kuznetsov V. V., Seravina T. V. [Condition and prospects of developing copper, zinc, and lead mineral-raw base in Russia]. *Razvedka i okhrana nedr – Prospect and Protection of Mineral Resources*, 2016, no. 9, pp. 100–106. (In Russ.)
12. Uskov M. E., Mardoian A. S., Melik-Stepanov Iu. G. [The problems of developing ferrous and nonferrous metallurgy in Khabarovsk Krai. Sci.-to-Pract. Conf. “Problems and Basic Directions of the Integrated Development and Distribution of Productive Forces in Khabarovsk Krai up to 2000”]. Khabarovsk, 1982, pp. 15–17. (In Russ.)

**Information about authors:**

**Arhipov Gennadii Ivanovich** – Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, Associate Professor, leading researcher of the Institute of Mining FEB RAS. E-mail: arhipov@igd.khv.ru

---

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

КОНОВАЛОВ В. Е.<sup>1</sup>, МУРАШЕВА А. А.<sup>2</sup>, БОЛТЫРОВ В. Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

<sup>2</sup> Государственный университет по землеустройству  
(Россия, г. Москва, ул. Казакова, 15)

**Введение.** Недропользование представляет собой один из мощных видов техногенеза, наиболее ярко выраженный при добыче полезных ископаемых и связанных с ней перерабатывающих производствах. Как следствие, формируется специфическая структура землепользования горнопромышленной территории.

**Методы исследования.** В процессе исследования использованы методы систематизации, сравнительного, факторного и системного анализа.

**Результаты.** Выявлено влияние факторов воздействия, возникающих в процессе добычи и переработки полезных ископаемых, при образовании земельных участков и специальных зон негативного воздействия горнопромышленного комплекса на окружающую среду. Показано, что образование горнопромышленных ландшафтов связано с формированием определенных геосистем (геомеханических, геотермических, геохимических). Взаимосвязь технологических факторов, в том числе горного отвода, территориальных факторов в виде земельных участков и их частей, а также геомеханических и экологических факторов в виде определенных геосистем позволяет сформировать систему землепользования в виде пассивной, активной и ограниченной форм использования земель горнопромышленной территории.

**Выводы.** Результаты проведенных исследований позволяют наметить пути рационального использования земельных ресурсов в период эксплуатации месторождения полезных ископаемых, уменьшить негативное влияние горнопромышленного комплекса на окружающую среду; определить территорию оценки прошлого, накопленного в местах дислокации горного предприятия экологического ущерба после отработки месторождения.

**Ключевые слова:** горный отвод; земельный отвод; зоны негативного воздействия; горнопромышленная территория; факторы воздействия; формы использования земель; геосистемы; горнопромышленный ландшафт.

**Введение.** Добыча любого полезного ископаемого (ПИ) – это серьезное вмешательство в природу и один из мощных видов техногенеза. При этом прямое техногенное воздействие на природную среду осуществляется объектами горного производства при непосредственном контакте с ней в процессе потребления минерального ресурса и размещения образующихся при этом отходов производства.

**Проведение исследований.** В рамках данного исследования как вид пользования недрами рассматривается добыча ПИ и связанные с ней перерабатывающие производства [1]. В этом случае исходным объектом при формировании структуры использования земель в процессе добычи и переработки ПИ выступает месторождение полезных ископаемых (МПИ) как часть литосферы – участок земной коры (недр), в котором в результате геологических процессов произошло накопление минерального вещества, по количеству, качеству и условиям залегания пригодного к промышленному освоению. Установленный вид ПИ в МПИ, содержание и свойства полезного компонента, оконтуренные по запасам ПИ границы месторождения, его пространственное местоположение, в том числе глуби-



на залегания в недрах, определяют способ разработки МПИ и первичной переработки ПИ.

В зависимости от особенностей МПИ согласно существующей классификации разработку месторождения можно производить следующими способами [2]: открытым, подземным, подводным, скважинным (технологическим). Процесс добычи и переработки ПИ осуществляется на территории горнопромышленного комплекса (ГПК) как производственно-хозяйственной единицы горного производства, включающей горнодобывающее предприятие и обогатительную фабрику. В соответствии с технологией горного производства направленность факторов воздействия при формировании использования земель в процессе добычи и переработки ПИ отражена в таблице.

Анализ таблицы показывает, что содержание и структура использования земель в процессе добычи и переработки ПИ определяются рядом соответствующих факторов:

- технологических, характеризующихся прямым воздействием на природную среду и определяющих общий вид использования земель;
- территориальных, определяющих особенности формирования техногенных ландшафтов как продуктов техногенеза;
- геомеханических (геодинамических), характеризующихся косвенным воздействием на природную среду и определяющих изменение земной поверхности вследствие проявления вещественно-энергетических связей между элементами и компонентами образуемых техногенных ландшафтов (и природной среды);
- экологических (геохимических, геотермических и иных), определяющих влияние ГПК на окружающую среду путем выделения вредных веществ и их взаимодействия с компонентами природной среды.

При этом, как правило, при использовании земель горнопромышленной территории задействованы все объекты земельных отношений [3]: земли (ареалы деградированных и загрязненных земель, подработанные и нарушенные территории), земельные участки, образуемые под объекты ГПК, и части земельных участков, занятые специальными зонами.

В соответствии с федеральным законодательством, участок недр, вмещающий МПИ, предоставляется пользователю недр на основании лицензии в виде *горного отвода* – геометризованного блока недр, учитывающего особенности разработки МПИ по технологии. При этом в случае подземного способа разработки МПИ земельный участок как таковой в границах горного отвода пользователем недр может не образовываться, тогда как для открытого способа разработки МПИ он обязателен.

Главными элементами (компонентами) сформированного горного отвода являются горные породы (вскрышные, вмещающие, налегающие), рудное тело, подземные воды и подземные газы, совокупность которых представляет собой *горный массив*, характеризующийся структурой и свойствами, изменяющимися в пространстве, в том числе и с глубиной.

Территориально и пространственно ГПК реализуется на земной поверхности в пределах земельного и горного отводов, в недрах – в пределах горного отвода. Под земельным отводом далее будем понимать совокупность земельных участков, образуемых под все объекты ГПК.

В местах разработки МПИ происходит почти полное уничтожение природных ландшафтов, на месте которых возникают новые природно-антропогенные объекты – техногенные формы рельефа: выемки (карьеры, разрезы), насыпи (отвалы, терриконы) и т. п., а также антропогенные объекты (технологические здания и сооружения). Это приводит к образованию особых природно-техногенных

**Направленность факторов воздействия при формировании использования земель**  
**The direction of the influencing factors under the formation of land use**

Способ разработки МПИ	Изъятие вещества и перераспределение энергии	Привнесение вещества и энергии	Трансформация или перераспределение вещества и энергии
Открытый	<p>Выемка вскрышных и/или вмещающих пород и полезного ископаемого на земной поверхности (образование земельных участков под объекты ГПК – карьеры, разрезы)</p> <p>Выделение природной энергии, сосредоточенной в горном массиве, вследствие ее разгрузки на формируемое свободное пространство (образование специальных зон на земной поверхности – осыпи, обрушения и оползни уступов и бортов карьеров и разрезов)</p>	<p>Размещение вскрышных и/или вмещающих пород и бедных руд в насыпях (образование земельных участков под объекты ГПК – отвалы)</p> <p>Строительство вспомогательных технологических объектов и объектов ОФ (образование земельных участков под объекты ГПК – здания и сооружения)</p> <p>Возникновение дополнительной потенциальной энергии за счет накопления вещества в насыпях (образование специальных зон на земной поверхности – оползни откосов отвалов, выпоры в основании отвалов)</p> <p>Отходы горного производства – выбросы рудничных газов, сносы пыли, сбросы рудничных вод, отходы процесса переработки ПИ (образование зон деградированных и загрязненных земель в зоне негативного влияния объектов ГПК)</p>	<p>Переработка руд и размещение отходов обогащения в накопителях (образование земельных участков под объекты ГПК – накопители)</p> <p>Возникновение потенциальной, гидростатической и гидродинамической энергии в емкостях накопителей жидких отходов (образование специальных зон на земной поверхности – оползни откосов дамб накопителей и прорывы в них, формирование возможных зон затопления ниже накопителей по рельефу)</p>
Подземный	<p>Выемка вскрышных и/или вмещающих пород и полезных ископаемых в недрах (под земной поверхностью) (объект ГПК – подземные горные выработки)</p> <p>Выделение природной энергии в горном отводе в налегающей толще и вмещающих горных породах за счет ее концентрации и перераспределения на контуре подземных горных выработок (образование специальных зон на земной поверхности – оседания, трещины, провалы)</p>	<p>Размещение вмещающих пород на дне морей, водоемов, водотоков, в насыпях (объект ГПК – подводные отвалы, образование земельных участков под объекты ГПК – эфели)</p> <p>Возникновение дополнительной потенциальной энергии за счет накопления вещества в насыпях</p>	
Подводный	<p>Выемка вскрышных и/или полезных ископаемых со дна морей, водоемов, водотоков (объект ГПК – подводные горные выработки, образование земельных участков под объекты ГПК – котлованы при подводной разработке россышных месторождений)</p> <p>Извлечение полезного ископаемого из растворов, рассолов, рапы (объект ГПК – поверхностные воды)</p>		
Скважинный	<p>Извлечение полезного ископаемого из недр (под земной поверхностью) (объект ГПК – скважины, образование земельных участков под кусты технологических скважин – продуктивных, нагнетательных и др.)</p> <p>Изменение гидростатической и гидродинамической энергии в продуктивном пласте (образование специальных зон на земной поверхности – оседания)</p>	<p>Размещение бурового шлама в накопителях (образование земельных участков под объекты ГПК – накопители)</p> <p>Строительство вспомогательных технологических объектов (образование земельных участков под объекты ГПК – трубопроводы и иные сооружения инженерной инфраструктуры)</p>	<p>Сжигание попутного газа в атмосферном воздухе</p> <p>Изменение тепловой энергии в районе газового факела</p>

комплексов – *горнопромышленных ландшафтов* (ГПЛ) [4], формируется специфическая система использования земель, связанная, как правило, с дезинтеграцией почв, т. е. с нарушением почвенного покрова и/или погребением его. Объекты ГПЛ образуются и функционируют в процессе строительства объектов ГПК, добычи и первичной переработки ПИ и частично остаются, развиваясь далее, после отработки МПИ, на тех же землях.

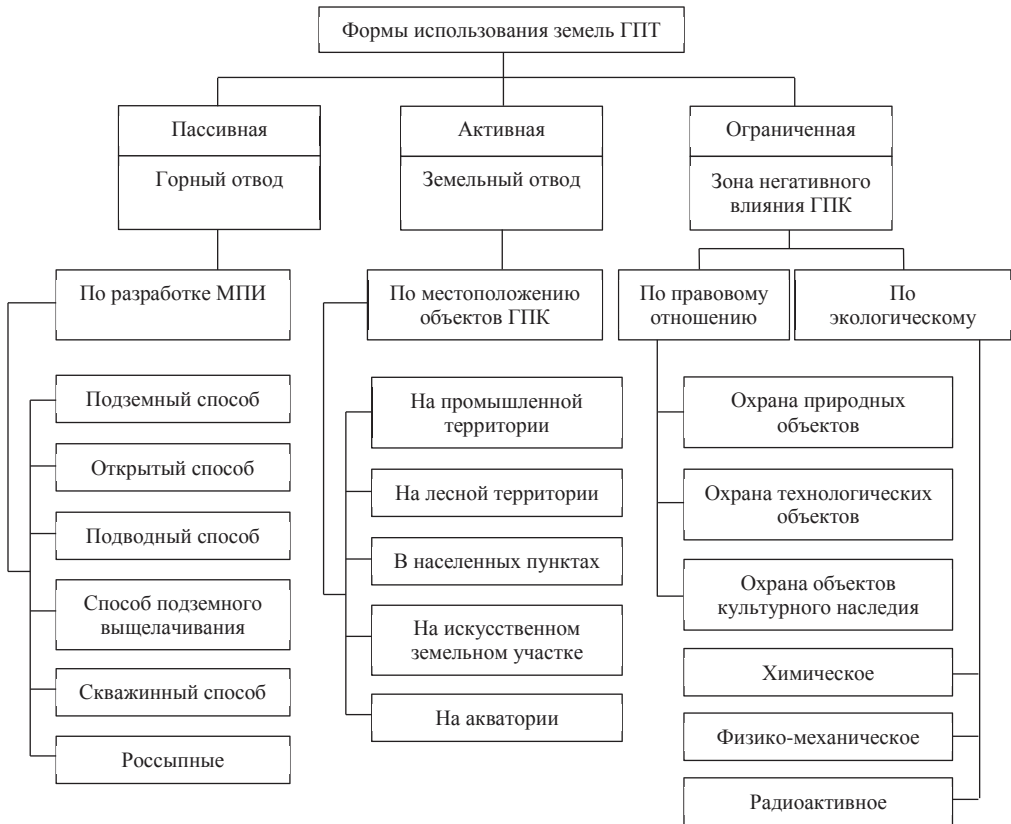


Рис. 1. Формы использования земель горнопромышленной территории  
 Fig. 1. Uses of lands at a mining territory

Горнопромышленные ландшафты характеризуются *пространственно-территориальными границами* в пределах земель, предназначенных для пользования недрами и подвергнутых негативному влиянию ГПК, а также вертикальными и горизонтальными связями в этих границах.

С позиции трансформации вещества и выделения энергии (таблица) образование объектов ГПЛ приводит к образованию специальных зон, виды и размеры которых определяются совокупностью внутренних взаимосвязей элементов объектов ГПЛ, т. е. наличием соответствующих геосистем.

Разработка МПИ приводит к внедрению в верхние слои литосферы, что сопряжено с освобождением энергии, перераспределением внутренних сил (напряжений) в горной среде, ослаблением и изменением структуры природных связей в горном массиве. В соответствии с теоретическими положениями механики горных пород, образование открытых поверхностей в массиве горных пород (борта карьеров, стенки подземных выработок) ведет к разуплотнению горных пород, раскрытию трещин, что в условиях открытой разработки МПИ приводит

к осыпям, обрушениям, оползням [5, 6], а в условиях подземной разработки МПИ – к проявлениям горного давления и сдвигению горных пород, в том числе к трещинам, проседаниям и провалам на земной поверхности [7–9].

Эти явления носят механический характер, т. е. сопровождаются перемещением горных масс, что приводит к формированию зон с нарушением устойчивости горного массива, обусловленных естественной *геомеханической системой*. При наличии в горном массиве, включающем горный отвод, тектонических структур различного вида возможно наличие геодинамических сил и напряжений, которые образуют сопутствующую геомеханической *геодинамическую систему*.

В свою очередь, в научной литературе достаточно хорошо описаны ГПЛ как *геохимические системы* [10, 11], в которых изменения свойств элементов ландшафтов обусловлены воздействием воздуха, поверхностных и подземных вод, т. е. образованием и переносом химических веществ в почву, что приводит к образованию ареалов загрязненных, захламленных и деградированных земель [12].

С другой стороны, внутриземное тепло приводит к появлению геотермического градиента, а именно к увеличению температуры горных пород с глубиной, т. е. возникает *геотермическая система* в недрах [13]. Изменение температуры горных пород с глубиной, присутствие рудничного воздуха создают определенные условия для самовозгорания руд (углей) и вмещающих пород, содержащих пирогенные элементы, процессы самовозгорания активизируются в подземных горных выработках, бортах карьеров, а также в толще отвалов и терриконов, размещаемых на поверхности. Это приводит к формированию специальных зон, являющихся причиной загрязнения земель, на которых они расположены.

Изменение состояния земель в зонах, образуемых геосистемами ГПЛ, определяющихся либо фактом образования объекта (карьер, отвал и т. п.) или выделением вредных веществ (выбросы или сбросы из техногенных источников), либо возможностью (вероятностью) наступления события (оползень борта карьера или провал на земной поверхности), позволяет выделить зоны с особым режимом использования территорий (ЗОРИТ). При формировании специальных зон, ограничивающих использование земель по назначению, т. е. в правовом отношении, следует учитывать и регламентированные зоны с особыми условиями использования территорий (ЗОУИТ) [3], такие, как охранные, санитарно-защитные, запретные и другие.

Вследствие отнесения ГПК к опасным производственным объектам следует учитывать его негативное воздействие на окружающую среду. Поэтому проблему использования и охраны земель на территориях, где происходит добыча и переработка ПИ, необходимо решать с учетом смежных с ГПК территорий. Следовательно, в дальнейшем под горнопромышленной территорией (ГПТ) будем понимать территорию, подвергшуюся воздействию ГПК на окружающую среду в экологическом смысле с учетом прав на земельные участки, занимаемые объектами ГПК и смежными землепользователями [14].

Размеры ГПТ устанавливаются по величине воздействия ГПК на окружающую среду с учетом ЗОРИТ и ЗОУИТ различного вида. Эти зоны, наряду с горным и земельным отводом, являются функциональной составной частью земель ГПТ и расположенных на них ГПЛ. Таким образом, ГПТ представляет собой общую территорию, использование земель которой может быть представлено в виде пассивной, активной и ограниченной форм (рис. 1).

**Выводы.** Полученные результаты являются развитием отдельных аспектов предложенной Концепции создания системы управления землепользованием

предприятий ГПК [14] и позволяют: сформировать структуру использования земель ГПТ; наметить пути рационального использования земель в период эксплуатации МПИ; уменьшить (сократить) негативное влияние ГПК на окружающую среду; определить территорию оценки прошлого, накопленного в местах дислокации ГПК экологического ущерба после отработки МПИ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закон Российской Федерации от 21 февраля 1992 года № 239Б-I «О недрах». (ред. от 03.08.2018). Доступ из справ.-прав. системы «Гарант».
2. Горная энциклопедия: Ортин – Социосфера. Т. 4. / под ред. Е. А. Козловского. М.: Сов. энциклопедия, 1989. 623 с.
3. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 03.08.2018). Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
4. Коновалов В. Е. Технологические объекты горнопромышленного комплекса – основа формирования объектов горнопромышленных ландшафтов // Известия вузов. Горный журнал. 2014. № 6. С. 27–32.
5. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
6. Marschalko M., Yilmaz I., Bednarik M., Kubecka K. Influence of underground mining activities on the slope deformation genesis: Doubrava Vrchovec, Doubrava Ujala and Staric case studies from Czech Republic // Engineering Geology. 2012. No. 147. P. 37–51.
7. Сдвигание горных пород на рудных месторождениях / М. А. Кузнецов [и др.]. М.: Недра, 1971. 224 с.
8. Vivanco F., Melo F. The effect of rock decompaction on the interaction of movement zones in underground mining // International journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2013. Vol. 60. P. 382–388.
9. Takamoto H., Oya J., Sasaoka T., Shimada H., Matsui K. Surface subsidence induced by underground coal mining in Indonesia // Coal International. 2013. Vol. 261. No. 5. P. 37–41.
10. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.
11. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 317 с.
12. Коновалов В. Е., Германович Ю. Г. Миграция вещества при добыче полезных ископаемых и их первичной переработке // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 2. С. 30–39.
13. Судакова С. С. Общее землеведение: учебник для вузов. М.: Недра, 1987. 325 с.
14. Мурашева А. А., Коновалов В. Е., Лепехин П. А. Концепция создания системы управления землепользованием предприятий горнопромышленного комплекса в современных условиях // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 7. С. 23–28.

Поступила в редакцию 10 октября 2018 года

**Для цитирования:** Коновалов В. Е., Мурашева А. А., Болтыров В. Б. Особенности использования земель горнопромышленной территории // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 118–124.

#### Сведения об авторах:

**Коновалов Владимир Ефимович** – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастров Уральского государственного горного университета. E-mail: vek-1951@mail.ru

**Мурашева Алла Андреевна** – доктор экономических наук, академик РАЕН, доцент, заведующий кафедрой экономики недвижимости Государственного университета по землеустройству. E-mail: amur2@nln.ru

**Болтыров Владимир Босхаевич** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях Уральского государственного горного университета. E-mail: fgz.glzchs@m.ursmu.ru

#### PECULIARITIES OF USING THE LANDS OF A MINING TERRITORY

Konovalev V. E.<sup>1</sup>, Murasheva A. A.<sup>2</sup>, Boltyrov V. B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

<sup>2</sup> State University of Land Use Planning, Moscow, Russia.

**Introduction.** *Subsoil use is one of the most powerful kinds of technogenesis most pronounced at mineral production and the connected processing plants. As a consequence, a specific structure of mining territories land use is formed.*

**Methodology.** *In the course of research the methods of systematization together with a comparative, factor and system analysis have been used.*

**Results.** *The impact of the influencing factors has been discovered occurring in the process of mineral production and processing, under the generation of estates and special zones of a mining complex negative environmental impact. It has been shown that the formation of mining landscapes is connected to the*

development of particular geosystems (geomechanical, geothermal, and geochemical). The interconnection of technological factors including mine take, territorial factors in the form of estates and their parts, as well as geomechanical and ecological factors in the form of particular geosystems allows to form the system of land use in the form of a passive, active and limited forms of mining territory land use.

**Conclusions.** The results of the research allow to outline the ways of land resources rational use in the period of mineral deposit operation, reduce negative environmental impact of a mining complex, and determine the territory of the previous post-mining environmental damage accumulated in the areas of a mining enterprise dislocation.

**Key words:** mine take; land take; zones of negative impact; mining territory; influencing factors; forms of land use; geosystems; mining landscape.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-118-124

#### REFERENCES

1. Law of the Russian Federation "About the Subsoil" of 21st February, 1992, no. 239B-1 (as amended on August 3, 2018). Access from "Garant" legal reference system. (In Russ.)
2. [Mining encyclopedia: Ortin – Sociosphere. Vol. 4. Edited by Kozlovsky E. A.]. Moscow, Sov. entsiklopediia Publ., 1989. 623 p. (In Russ.)
3. Land code of the Russian Federation of October 25, 2001, no. 136-FZ (as amended on August 3, 2018). Access from the legal reference system Consultant Plus. (In Russ.)
4. Konovalov V. E. [Technological objects of the mining complex is the basis of the of the mining landscapes formation]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, no. 6, 2014, pp. 27–32. (In Russ.)
5. Fisenko G. L. [Stability of benches at open pits and dumps]. Moscow, Nedra Publ., 1965. 378 p.
6. Marschalko M., Yilmaz I., Bednarik M., Kubecka K. Influence of underground mining activities on the slope deformation genesis: Doubrava Vrchovec, Doubrava Ujala and Staric case studies from Czech Republic. *Engineering Geology*, 2012, no. 147, pp. 37–51.
7. Kuznetsov M. A., and others. [Displacement of rocks at ore deposits]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 224 p.
8. Vivanco F., Melo F. The effect of rock decompaction on the interaction of movement zones in underground mining. *International journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2013, vol. 60, pp. 382–388.
9. Takamoto H., Oya J., Sasaoka T., Shimada H., Matsui K. Surface subsidence induced by underground coal mining in Indonesia. *Coal International*, 2013, vol. 261, no. 5, pp. 37–41.
10. Perel'man A. I., Kasimov N. S. [Landscape geochemistry]. Moscow, MSU Publ., 1999. 610 p.
11. Sochava V. B. [Introduction to the teaching of geosystems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978. 317 p.
12. Konovalov V. E., Germanovich Iu. G. [Substance migration at minerals production and primary processing]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2018, no. 2, pp. 30–39. (In Russ.)
13. Sudakova S. S. [School book for the Institutions of Higher Education "General Earth Science"]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 325 p.
14. Murasheva A. A., Konovalov V. E., Lepekhin P. A. [Concept of creating a land management system of the mining enterprise in the current conditions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2013, no. 7, pp. 23–28. (In Russ.)

#### Information about authors:

**Konovalov Vladimir Efimovich** – Candidate of Engineering Science, associate professor at the Department of Geodesy and Cadastres of the Ural State Mining University. E-mail: vek-1951@mail.ru  
**Murasheva Alla Andreevna** – Doctor of Economic Science, Academician of RANS, Associate Professor, Head of the Department of Real Estate Economics of the State University of Land Use Planning. E-mail: amur2@nln.ru

**Boltyrov Vladimir Boskhaevich** – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, professor of the Department of Geology and protection in emergency situations, Ural State Mining University. E-mail: gz.glzchs@m.ursmu.ru.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКИ С УЧЕТОМ УТЕЧКИ-ПОДСОСА ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ЗОНУ ОБРУШЕНИЯ

КОЗЫРЕВ С. А.<sup>1</sup>, АМОСОВ П. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Горный институт Кольского научного центра РАН  
(Россия, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 24)

*Целью работы является исследование методами численного моделирования процесса проветривания тупиковой выработки, соприкасающейся со стороны торца с обрушенными породами, при наличии утечки-подсоса воздуха через зону обрушения.*

*Методика.* Для компьютерного моделирования в трехмерной реальной геометрии использовалась программа COMSOL. Для вычисления аэродинамических характеристик применялась стандартная ( $k-\epsilon$ )-модель турбулентности. Процесс проветривания выработки промоделирован посредством численного решения конвективно-диффузионного уравнения переноса пассивной примеси. Численные эксперименты по проветриванию тупиковой выработки длиной 20 м и сечением 18,4 м<sup>2</sup> выполнены для диапазона расхода воздуха в сквозной выработке от 6,25 до 50 м<sup>3</sup>/с и величины утечки-подсоса 0;  $\pm 0,02$  и  $\pm 0,07$  м<sup>3</sup>/с. Начальное загрязнение атмосферы тупиковой выработки принято равным 25 ПДК (по условным оксидам углерода).

*Результаты и обсуждение.* Получены пространственные распределения аэродинамических характеристик модели и пространственно-временные распределения примеси. Проанализировано и обобщено до функциональной зависимости время достижения уровня ПДК в тупиковой выработке в зависимости от значений варьируемых параметров модели. Установлено, что подсос воздуха по сравнению с утечкой является более эффективным средством сокращения времени проветривания. Показано, что при принятых начальных и граничных условиях рост расхода воздуха в основной выработке сокращает время проветривания, а расчетные графические зависимости хорошо аппроксимируются степенной функцией. Для ситуации отсутствия утечки-подсоса начальное загрязнение атмосферы тупиковой выработки проваривано в диапазоне от 2 до 25 ПДК. Получена аналитическая зависимость для оценки прогнозного времени проветривания тупиковой выработки за счет турбулентной диффузии.

**Ключевые слова:** тупиковая выработка; зона обрушения; утечка-подсос; проветривание; численное моделирование.

**Введение.** Применение высокопроизводительных систем разработки с обрушением руды и покрывающих пород при добыче полезных ископаемых приводит к образованию зон обрушения. Наличие аэродинамической связи горных выработок с поверхностью через зону обрушения оказывает существенное влияние на вентиляционную систему рудника. Утечка или подсос воздуха проявляются в том, что они изменяют количество доходящего до забоев воздуха и нарушают планируемый воздухообмен в блоках и отдельных забоях.

Данные условия характерны для системы разработки с поэтажным обрушением и торцевым выпуском руды. В этом случае проветривание выработок, расположенных сбоку от основной, осуществляется посредством эжектирующего действия вентиляционной струи воздуха, проходящей в основной выработке, проветриваемой за счет общешахтной депрессии. При этом утечка максимально

проявляется в летний, самый тяжелый для вентиляции период года [1], когда более 40 % подаваемого в рудник воздуха теряется, не доходя до эксплуатационных участков, а подсос – в зимний период.

Эффективность выноса вредных примесей из тупикового забоя зависит от геометрических параметров горной выработки и ее длины. Основным параметром, помимо геометрических характеристик выработки, влияющим на эффективность проветривания за счет механизма турбулентной диффузии, является скорость воздуха в примыкающей основной выработке. Утечка-подсос вносят определенные изменения в аэродинамику атмосферы тупикового забоя, что, безусловно, отражается на продолжительности времени его проветривания.

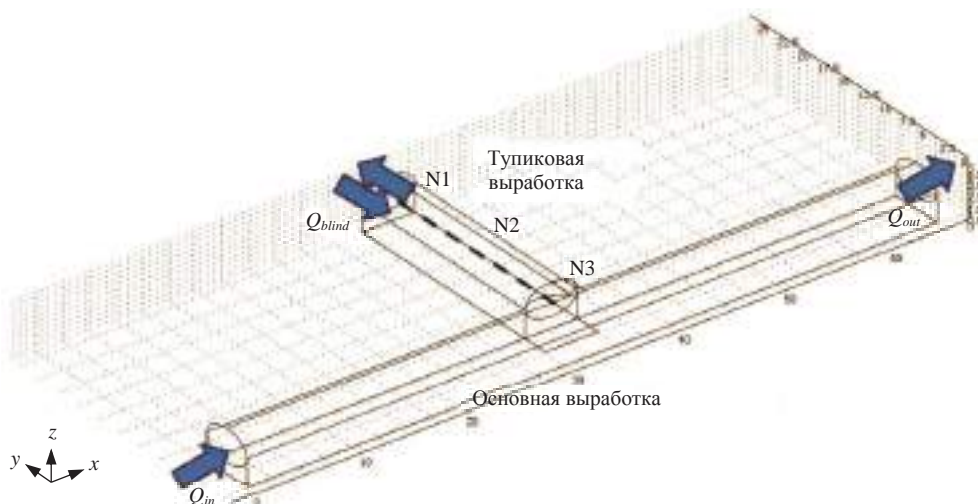


Рис. 1. Геометрия моделируемой области (основная выработка, тупиковая выработка) и точки контроля концентрации загрязнения (N1, N2, N3)

Fig. 1. The geometry of the modeled area (the main excavation, blind excavation) and pollution concentration control points (N1, N2, N3)

Выполненный анализ исследований по проблеме проветривания тупиковых выработок [2–9] показал, что до настоящего времени вопрос проветривания таких выработок, соприкасающихся со стороны их торцов с обрушенными породами, при наличии утечки-подсоса воздуха через зону обрушения изучен недостаточно. В работах [10, 11] процесс проветривания моделировался в объемной, но упрощенной геометрии выработок. Показано, что учет утечки-подсоса действительно сокращает время проветривания и при этом подсос оказывается более эффективным средством по сравнению с утечкой.

В представляемом исследовании отмеченный недостаток в геометрическом представлении выработок [10, 11] устранен и процесс проветривания тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса промоделирован в реальной объемной геометрии.

**Постановка задачи.** Область моделирования включает основную выработку протяженностью 65 м, сечением 18,4 м<sup>2</sup> и перпендикулярную ей тупиковую выработку с тем же самым поперечным сечением и длиной 20 м вдоль оси  $y$ . Направление воздушного потока в основной выработке выбрано вдоль оси  $x$ . Направление утечки-подсоса – вдоль оси  $y$  (рис.1).

Согласно федеральным нормам и правилам (*Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых: федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. М.: НИИЦ*



«Недра-XXI», 2015. 160 с.) допускается проветривание тупиковых выработок за счет турбулентной диффузии длиной не более 10 м. Однако наличие в тупиковой выработке утечки-подсоса воздуха переводит процесс ее проветривания в другую категорию, поскольку помимо механизма турбулентной диффузии начинает «работать» целенаправленный конвективный перенос, обусловленный не только движением воздуха по основной выработке. В данной работе рассмотрен процесс проветривания тупиковой выработки длиной 20 м с целью определения возможности ее проветривания за счет турбулентной диффузии.

Применительно к системе разработки с подэтажным обрушением, используемой на подземных рудниках АО «Апатит», для одиночной тупиковой выработки, соприкасающейся с обрушенными породами, по данным депрессионной съемки [1] величина утечки в среднем составляет 0,02–0,07 м<sup>3</sup>/с. Указанный диапазон значений использован при моделировании процесса проветривания, в том числе и при учете подсоса.

**Таблица 1. Осредненные коэффициенты турбулентной диффузии (м<sup>2</sup>/с) в выработках модели при расходе воздуха  $Q_{in} = 50$  м<sup>3</sup>/с в основной выработке и вариации утечки-подсоса  $Q_{blind}$**

**Table 1. Average turbulence diffusion coefficients (m<sup>2</sup>/s) in the excavations of a model under air consumption  $Q_{in} = 50$  m<sup>3</sup>/s in the main excavation under the variation of leakage/inflow  $Q_{blind}$**

$Q_{blind}$ , м <sup>3</sup> /с	Основная выработка	Тупиковая выработка
Утечка –0,07	0,0432	0,0673
Утечка –0,02	0,0432	0,0699
0	0,0433	0,0696
Подсос +0,02	0,0433	0,0692
Подсос +0,07	0,0433	0,0684

Расход воздуха, поступающего в основную выработку  $Q_{in}$ , проварьирован: 6,25; 12,5; 25,0 и 50,0 м<sup>3</sup>/с. Для каждого варианта расхода воздуха  $Q_{in}$  рассмотрено пять ситуаций, различающихся расходами воздуха через зону обрушения  $Q_{blind}$ : базовая (без утечки воздуха  $Q_{blind} = 0$ ); утечка-подсос  $Q_{blind} = \pm 0,02$  м<sup>3</sup>/с; утечка-подсос  $Q_{blind} = \pm 0,07$  м<sup>3</sup>/с.

Геометрическое построение модели, ее наполнение физическими параметрами и численные эксперименты выполнены с помощью программы COMSOL. В процессе расчетов использован двухэтапный методический подход [10, 12]:

1) расчет аэродинамических процессов в горных выработках с привлечением стандартной ( $k$ – $\epsilon$ )-модели турбулентности и определение осредненного по объему моделирования коэффициента турбулентной динамической вязкости с переходом к коэффициенту турбулентной диффузии через число Прандтля–Шмидта [10, 12];

2) моделирование процесса выноса вредных примесей заданной начальной концентрации из тупиковой выработки посредством решения конвективно-диффузионного уравнения до достижения нормативного уровня концентрации (ПДК) во всей области моделирования.

Выполнено две серии численных экспериментов:

в *первой* исследовалось влияние утечки-подсоса воздуха на время достижения нормативного уровня ПДК по сравнению с базовой ситуацией  $Q_{blind} = 0$  при фиксированном уровне начального загрязнения атмосферы  $C_0$  в объеме тупиковой выработки, равном 25 ПДК (по условным оксидам углерода);

во *второй* изучался эффект вариации уровня начального загрязнения атмосферы  $C_0$  тупиковой выработки (от 2 до 25 ПДК) на время проветривания исклю-

чительно посредством механизма турбулентной диффузии для базовой ситуации ( $Q_{blind} = 0$ ) при минимальном расходе воздуха в основной выработке.

**Результаты интегрирования конвективно-диффузионного уравнения переноса пассивной примеси.** В табл. 1 представлены значения осредненных коэффициентов турбулентной диффузии по выработкам для максимального значения расхода воздуха в основной выработке и вариации расхода утечки-подсоса.

Из данных табл. 1 видно, что осредненный коэффициент турбулентной диффузии в основной выработке практически не зависит от величины утечки-подсоса. Влияние утечки-подсоса на величину осредненного коэффициента турбулентной диффузии в тупиковой выработке невелико (не более 4 %).

Для остальных значений расхода в основной выработке работает линейная зависимость: во сколько раз уменьшается расход, в такое же число раз снижается значение осредненного коэффициента турбулентной диффузии.

В качестве примера одного из результатов первой серии расчетов на рис. 2 представлено пространственное распределение концентрации примеси по области моделирования на момент времени 15 мин. Для ситуации, изображенной на рис. 2, приняты значения расхода воздуха по основной выработке  $Q_{in} = 6,25 \text{ м}^3/\text{с}$  и величины подсоса  $Q_{blind} = +0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ .

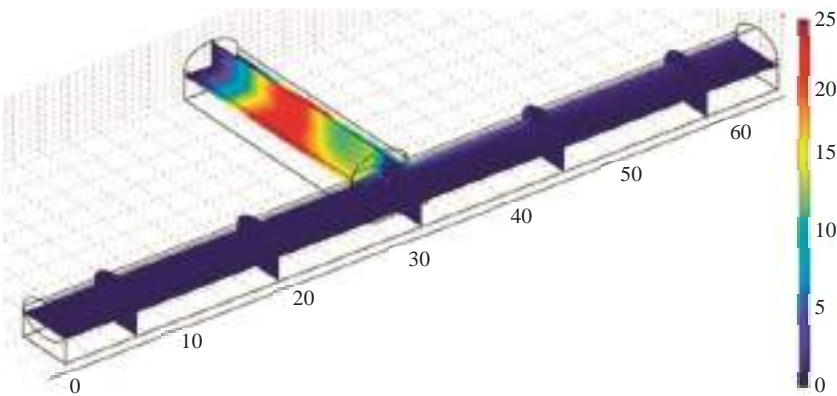


Рис. 2. Пространственное распределение примеси в моделируемом объеме на момент времени 15 минут с учетом подсоса:

$Q_{in} = 6,25 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{blind} = +0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ ; в легенде – концентрация, ед. ПДК

Fig. 2. Spatial distribution of impurity in the modeled volume at the timepoint of 15 minutes with the account of inflow:

$Q_{in} = 6.25 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{blind} = +0.07 \text{ м}^3/\text{с}$ ; descriptive data – concentration, MDC

Эффект подсоса воздуха наглядно проявляется при анализе пространственного распределения концентрации примеси во времени: наблюдается постепенное увеличение области «чистой» атмосферы, начиная от торца тупиковой выработки, и вытеснение загрязнения в направлении основной выработки.

Результаты расчетов времени проветривания  $T$  в соответствии с указанными расходом воздуха в основной выработке  $Q_{in}$  и утечкой-подсосом через торец тупиковой  $Q_{blind}$  представлены на рис. 3. Все графики рис. 3 с коэффициентами достоверности, близкими к единице, аппроксимируются степенной функцией  $T = A Q_{in}^{-B}$  со своими коэффициентами аппроксимации  $A$  и  $B$  для рассматриваемых вариантов утечки-подсоса. Значения коэффициентов аппроксимации приведены в табл. 2.

Анализ графиков рис. 3 показывает: максимальное время проветривания имеет место при отсутствии утечки-подсоса. В этом случае время проветривания меняется от самого продолжительного (8 ч) при минимальном значении  $Q_{in}$  до  $\sim 1$  ч при максимальном расходе воздуха в основной выработке. При учете утечки-под-

соса имеем существенное снижение времени проветривания. Причем эффект подсоса более существенный. В первую очередь в терминах абсолютных величин этот эффект значителен при малых расходах воздуха в основной выработке.

При минимальном расходе воздуха в основной выработке при утечке  $-0,02 \text{ м}^3/\text{с}$  время проветривания сокращается до  $\sim 4,6 \text{ ч}$ , тогда как подсос при том же уровне расхода обеспечивает нормативную чистоту атмосферы в тупиковой выработке уже через  $\sim 2,2 \text{ ч}$ . Дальнейшее увеличение расхода утечки-подсоса до  $\pm 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$  еще более сокращает время проветривания: в случае утечки до  $\sim 2 \text{ ч}$ , при подсосе – до  $\sim 1,5 \text{ ч}$ .

При максимальном расходе воздуха в основной выработке при утечке  $-0,02 \text{ м}^3/\text{с}$  время проветривания сокращается с  $59,3 \text{ мин}$  до  $55,6 \text{ мин}$ , тогда как подсос при том же уровне расхода обеспечивает достижение уровня ПДК в тупиковой выработке уже через  $16,6 \text{ мин}$ . Дальнейший рост расхода утечки-подсоса до  $\pm 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$  приводит к сокращению времени проветривания: в случае утечки до  $47,2 \text{ мин}$ , а при подсосе – всего лишь до  $16,5 \text{ мин}$ . Представляется, что действительно, как это и было отмечено в работах [10, 11], в упрощенной геометрии выработок подсос воздуха является более эффективным средством сокращения времени проветривания.

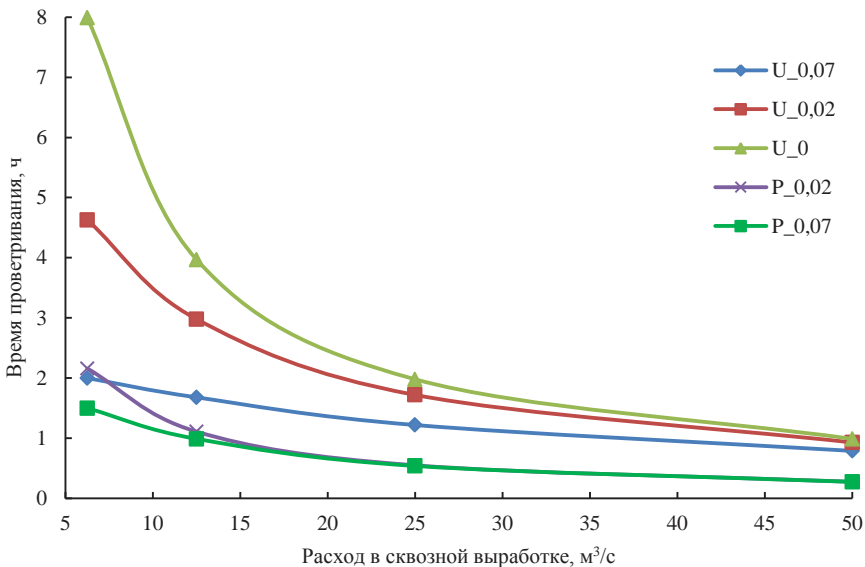


Рис. 3. Прогнозное время проветривания тупиковой выработки в зависимости от расхода воздуха в сквозной выработке с учетом утечки-подсоса через зону обрушения: U – утечка; P – подсос

Fig. 3. Forecast time of a blind excavation ventilation depending on air consumption in through excavation with the account of leakage/inflow through the failure zone: U – leakage; P – inflow

Динамика процесса проветривания в точках контроля, расположенных на центральной оси тупиковой выработки с координатами  $5 \text{ м}$  (N3),  $15 \text{ м}$  (N2) и  $25 \text{ м}$  (N1) – вдоль оси  $y$  (рис. 1), представлена на рис. 4. Согласно рис. 4, расход воздуха в основной выработке составляет  $12,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , а величина утечки-подсоса равна  $\pm 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Анализ результатов для всех расходов воздуха в основной выработке показывает, что поведение кривых динамики концентрации в точках контроля N3 и N2 при наличии утечки-подсоса похоже – монотонное снижение, скорость которого определяется расходами воздуха  $Q_{in}$  и  $Q_{blind}$

Максимальное отличие в поведении кривых динамики концентрации имеет место в точке N1. В случае утечки прогнозируется незначительное (не более 0,4 %) повышение уровня концентрации на начальном этапе проветривания, а затем монотонное снижение уровня концентрации, тогда как при подсосе значение концентрации нулевое (поступает чистый воздух).

Заметим, что в точках контроля в процессе проветривания достижение концентрации уровня ПДК наступает значительно раньше, чем это происходит в других областях моделируемого пространства. Именно поэтому при численном интегрировании нестационарного конвективно-диффузионного уравнения переноса пассивной примеси необходимо отслеживать ту локальную область, в которой достижение уровня ПДК происходит в последнюю очередь.

**Таблица 2. Коэффициенты аппроксимации степенной функции  $T = A \cdot Q_{in}^{-B}$  времени проветривания  $T$  тупиковой выработки в зависимости от расхода воздуха  $Q_{in}$  в основной выработке при вариации утечки-подсоса  $Q_{blind}$**

**Table 2. Approximation coefficient of an exponential function  $T = A \cdot Q_{in}^{-B}$  ventilation time  $T$  of a blind excavation depending on air consumption  $Q_{in}$  in the main excavation under the variation of leakage/inflow  $Q_{blind}$**

$Q_{blind}, \text{ м}^3/\text{с}$	$A$	$B$
Утечка -0,07	4,860	0,44
Утечка -0,02	20,02	0,77
0	50,23	1,00
Подсос +0,02	13,36	0,99
Подсос +0,07	7,258	0,82

Во второй серии расчетов по исследованию влияния уровня начального загрязнения атмосферы  $C_0$  тупиковой выработки на время проветривания  $T$  расчеты выполнены для базовой ситуации ( $Q_{blind} = 0$ ) при минимальном расходе воздуха в основной выработке.

График зависимости  $T = f(C_0)$  в рассмотренном интервале начального загрязнения атмосферы тупиковой выработки для расхода воздуха в основной выработке  $6,25 \text{ м}^3/\text{с}$  с максимальным коэффициентом достоверности аппроксимируется логарифмической функцией  $T = 134,51 \ln(C_0) + 46,066$ . Заметим, что именно логарифмическая функция начального уровня загрязнения атмосферы рекомендуется классиками рудничной аэрологии [13–16] при оценке времени проветривания подземных выработок, например после взрывных работ. Этот факт можно рассматривать как дополнительный аргумент объективности результатов и адекватности компьютерной модели. Естественно, что аналогичную процедуру (серию численных экспериментов и обработку результатов расчетов) можно выполнить и для других значений расходов в основной выработке, т. е. выйти на некоторое обобщающее выражение функции нескольких варьируемых переменных, как это сделано в работе [12].

**Заключение.** На базе построенных компьютерных моделей (в трехмерной постановке и реальной геометрии) выполнено исследование процесса проветривания тупиковой выработки протяженностью 20 м с учетом утечки-подсоса через зону обрушения и показано, что при длине выработок больше 10 м возможно ее проветривание за счет турбулентной диффузии.

В первой серии расчетов при фиксированном уровне начального загрязнения атмосферы тупиковой выработки 25 ПДК варьировались расход воздуха в основной выработке от  $6,25$  до  $50,0 \text{ м}^3/\text{с}$  и величина утечки-подсоса через зону обрушения от  $0,0$  до  $\pm 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Анализ прогнозных значений времени проветривания тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса в рассмотренном диапазоне расходов воздуха свидетельствует:

– подсос воздуха по сравнению с утечкой является более эффективным средством сокращения времени проветривания;

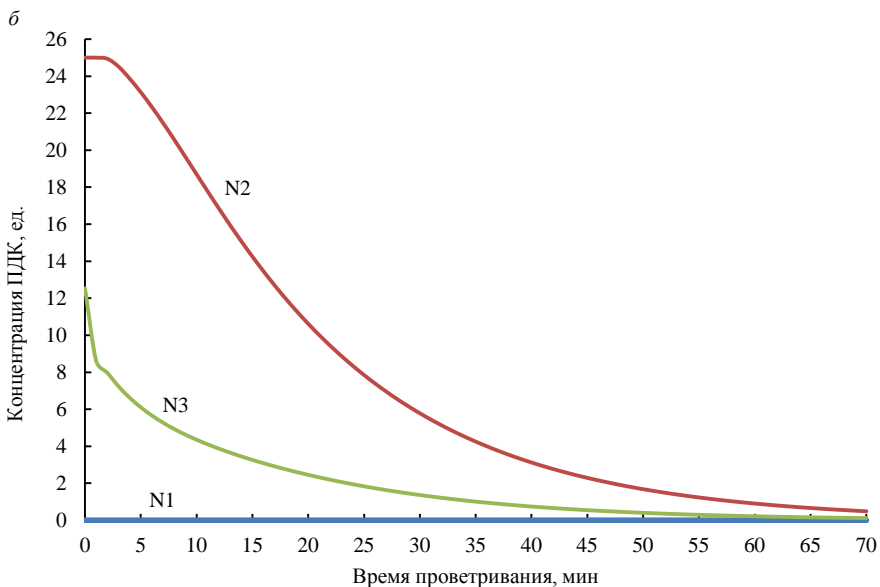
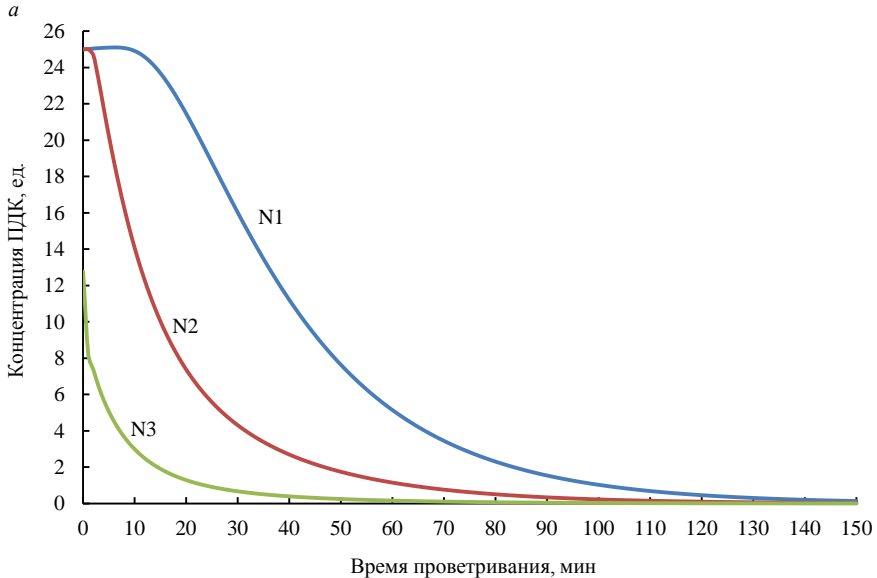


Рис. 4. Динамика концентрации в точках контроля при расходе воздуха в основной выработке  $12,5 \text{ м}^3/\text{с}$ :

$a$  – утечка  $-0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $б$  – подсос  $+0,07 \text{ м}^3/\text{с}$

Fig. 4. Concentration dynamics in the control points under air consumption in the main excavation  $12.5 \text{ м}^3/\text{с}$ :

$a$  – leakage  $-0.07 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $б$  – inflow  $+0.07 \text{ м}^3/\text{с}$

– рост расхода воздуха в сквозной выработке сокращает время проветривания до достижения ПДК и при этом расчетные графические зависимости хорошо описываются степенной функцией;

– при принятых величинах утечек-подсосов и расходов воздуха наибольшее влияние в абсолютных величинах на время проветривания проявляется при малых расходах воздуха в основной выработке.

Во второй серии численных экспериментов для базовой ситуации отсутствия утечки-подсоса и минимального значения расхода воздуха в основной выработке параметром вариации был уровень начального загрязнения атмосферы тупиковой выработки от 2 до 25 ПДК.

Показано, что прогнозные значения времени проветривания тупикового забоя посредством механизма турбулентной диффузии при фиксированном расходе воздуха в основной выработке при вариации уровня начального загрязнения атмосферы тупиковой выработки аппроксимируются логарифмической функцией.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алехичев С. П., Пучков Л. А. Аэродинамика зон обрушения и расчет блоковых утечек воздуха. Л.: Наука, 1968. 67 с.
2. Шибанов Е. А. Моделирование процесса проветривания тупиковых выработок // Матер. Уральской горнопромышленной декады, 5–15 апреля 2004 г. Екатеринбург: УГГА, 2004. С. 426–431.
3. Росляков А. С., Исаков В. А. Проветривание призабойной зоны тупиковой горной выработки двумя последовательными свободными струями // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 5. С. 57–62.
4. Левин Л. Ю., Исаевич А. Г., Газизуллин Р. Р. Численное моделирование процессов выноса вредных примесей рудничной атмосферы при проветривании тупиковых забоев различными способами // Научные исследования и инновации. 2011. Т. 5. № 2. С. 127–129.
5. Li X. F., Li Q. Study on the flow numerical simulation of jet ventilation in multi tunnel excavation // Advanced Materials Research. 2012. Vol. 524–527. P. 731–734. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.524-527.731.
6. Левин Л. Ю., Исаевич А. Г., Семин М. А., Газизуллин Р. Р. Исследование динамики пылевоздушной смеси при проветривании тупиковой выработки в процессе работы комбайновых комплексов // Горный журнал. 2015. № 1. С. 72–75.
7. Евстратенко Л. И. Повышение эффективности вентиляции рудников Кривбасса с аэроактивными зонами обрушения: дисс. ... канд. техн. наук. Кривой Рог, 2015. 168 с.
8. Левин Л. Ю., Газизуллин Р. Р., Зайцев А. А. Использование программного модуля ANSYS CFX при решении научно-производственных задач проветривания шахт и рудников. URL: <https://sapr.ru/article/22542> (дата обращения 14.01.2016).
9. Feroze T., Genc B. Estimating the effects of line brattice ventilation system variables in an empty heading in room and pillar mining using CFD // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016. Vol. 116. No. 12. P. 1143–1152. DOI:10.17159/2411-9717/2016/v116n12a8.
10. Козырев С. А., Амосов П. В. Численное моделирование процесса проветривания одиночной тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса воздуха через зону обрушения // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 291–294.
11. Kozыrev S., Amosov P. Numerical modelling of blind excavation ventilation taking into account failure zone // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Vol. 17. No. 13. P. 591–598. ISBN 978-619-7105-00-1. DOI:10.5593/sgem2017/13.
12. Козырев С. А., Амосов П. В. Методический подход к оценке времени проветривания тупиковых выработок на базе трехмерного численного моделирования // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. № 1/1. С. 5–12.
13. Дуганов Г. В., Дробница В. Ф., Никитин И. П., Дребница А. В. Проветривание тупиковых выработок большой длины. М.: Недра, 1968. 75 с.
14. Ушаков К. З., Бурчаков А. С., Медведев И. И. Рудничная аэрология. М.: Недра, 1978. 440 с.
15. Ушаков К. З., Бурчаков А. С., Пучков Л. А., Медведев И. И. Аэрология горных предприятий. М.: Недра, 1987. 421 с.
16. Рудничная вентиляция: справочник / под ред. К. З. Ушакова. М.: Недра, 1988. 440 с.

Поступила в редакцию 19 апреля 2018 года

**Для цитирования:** Козырев С. А., Амосов П. В. Исследование процесса проветривания тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса воздуха через зону обрушения // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 125–134.

#### Сведения об авторах:

**Козырев Сергей Александрович** – доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Горного института Кольского научного центра РАН. E-mail: [skozirev@goi.kolasc.net.ru](mailto:skozirev@goi.kolasc.net.ru)

**Амосов Павел Васильевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Горного института Кольского научного центра РАН. E-mail: [vosoma@goi.kolasc.net.ru](mailto:vosoma@goi.kolasc.net.ru)

## INVESTIGATION OF A BLIND EXCAVATION VENTILATION TAKING INTO ACCOUNT AIR LEAKAGE/ INFLOW THROUGH THE FAILURE ZONE

Kozyrev S. A.<sup>1</sup>, Amosov P. V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mining Institute KSC RAS, Apatity, Russia.

**Research aim** is to investigate with the methods of numerical modeling the process of ventilation of a blind excavation which touches the broken-down rock with air leakage/inflow through the failure zone.

**Methodology.** For computer modeling in 3D actual geometry, COMSOL program has been used. To calculate the aerodynamic characteristics, a standard ( $k$ - $\epsilon$ )-model of turbulence was used. The ventilation of the excavation has been modeled with a numerical solution of the convective-diffusion equation of the passive impurity transport. Numerical experiments on a blind excavation ventilation with the length of 20 m and cross-section of 18.4 m<sup>2</sup> have been carried out for the range of air consumption in the through excavation from 6.25 to 50 m<sup>3</sup>/s and the value of leakage/inflow 0;  $\pm 0.02$  and  $\pm 0.07$  m<sup>3</sup>/s.

**Results and discussion.** Spatial distributions of the model's aerodynamic characteristics and spatial-temporal distributions of the impurity have been obtained. The times for reaching the MPC level in the blind excavation depending on the values of the variable parameters of the model have been analyzed and generalized to the functional dependence. It has been established that air inflow in comparison with a leakage is a more effective means of reducing ventilation time. It is shown that, with the initial and boundary conditions accepted, the increase in air consumption in the main excavation reduces the ventilation time, and the calculated graphical dependencies are well approximated by the power function. With no air leakage/inflow, the initial atmosphere pollution of a blind mine excavation has been varied within 2 and 25 MDC. An analytical dependence has been obtained for estimating the predictive ventilation time for the blind excavation due to turbulent diffusion.

**Key words:** blind excavation; failure zone; leakage/inflow; ventilation; numerical modelling.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-125-134

### REFERENCES

1. Alekhichev S. P., Puchkov L. A. [Aerodynamics of failure zones and calculation of air leakages in blocks]. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 67 p.
2. Shibanov E. A. [Modeling the ventilation of blind excavations. Proc. Ural Mining Decade, April 5th–15th]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2004, pp. 426–431. (In Russ.)
3. Rosliakov A. S., Isakov V. A. [Airing of bottom hole deadlock excavation with two consecutive free streams]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2011, no. 5, pp. 57–62. (In Russ.)
4. Levin L. Iu., Isaevich A. G., Gazizullin R. R. [Numerical modeling of the processes of mine detrimental impurities removal when ventilating blind excavations using various methods]. *Nauchnye issledovaniia i innovatsii – Scientific Investigations and Innovations*, 2011, vol. 5, no. 2, pp. 127–129. (In Russ.)
5. Li X. F., Li Q. Study on the Flow Numerical Simulation of Jet Ventilation in Multi Tunnel Excavation. *Advanced Materials Research*, 2012, vol. 524–527, pp. 731–734. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.524-527.731.
6. Levin L. Iu., Isaevich A. G., Semin M. A., Gazizullin R. R. [Dust air mixture dynamics investigation when ventilating a blind excavation in the process of combine systems operation]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2015, no. 1, pp. 72–75. (In Russ.)
7. Evstratenko L. I. [Improving the ventilation efficiency of Kryvbas mines with aeroactive failure zones. Cand. eng. sci. diss.]. Kryvyi Pih, 2015. 168 p.
8. Levin L. Iu., Gazizullin R. R., Zaitsev A. A. [Using ANSYS CFX software module to solve scientific and production tasks of mines and shafts ventilation]. Available at: <https://sapr.ru/article/22542> (Access date January 14th, 2016).
9. Feroze T., Genc B. Estimating the effects of line brattice ventilation system variables in an empty heading in room and pillar mining using CFD. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2016, vol. 116, no. 12, pp. 1143–1152. DOI:10.17159/2411-9717/2016/v116n12a8.
10. Kozyrev S. A., Amosov P. V. [Numerical modelling of blind excavation ventilation taking into account failure zone]. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN – Proceedings Fersman Scientific Session of MI KSC RAS*, 2017, no. 14, pp. 291–294. (In Russ.)
11. Kozyrev S., Amosov P. Numerical modelling of blind excavation ventilation taking into account failure zone. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2017, vol. 17, no. 13, pp. 591–598. ISBN 978-619-7105-00-1. DOI:10.5593/sgem2017/13.
12. Kozyrev S. A., Amosov P. V. [Estimation of aeration time in blind excavations: Methodological approach based on 3D numerical modeling]. *Vestnik MGTU: Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Vestnik of MSTU: Scientific Journal of Murmansk State Technical University*, 2017, vol. 20, no. 1/1, pp. 5–12. (In Russ.)
13. Duganov G. V., Drobnitsa V. F., Nikitin I. P., Drebnitsa A. V. [Long blind excavations ventilation]. Moscow, Nedra Publ., 1968. 75 p.
14. Ushakov K. Z., Burchakov A. S., Medvedev I. I. [Mining aerology]. Moscow, Nedra Publ., 1978. 440 c.

15. Ushakov K. Z., Burchakov A. S., Puchkov L. A., Medvedev I. I. [Mining enterprises aerology]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 421 p.
16. [Reference Book "Mining Ventilation". Edited by Ushakov K. Z.]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 440 p.

**Information about authors:**

**Kozyrev Sergei Aleksandrovich** – Doctor of Engineering Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Mining Institute KSC RAS. E-mail: skozirev@goi.kolasc.net.ru

**Amosov Pavel Vasil'evich** – Candidate of Engineering Science, senior researcher, leading researcher of Mining Institute KSC RAS. E-mail: vosoma@goi.kolasc.net.ru

---



## ОЦЕНКА ОСВОЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКАМИ ГОРНОГО ВУЗА

МОЧАЛОВА Л. А.<sup>1</sup>, КОХ И. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

*Целью работы* явилась оценка наличия и востребованности экологических компетенций у выпускников горного вуза.

*Объектом исследования* выступила экологическая компетентность студентов-выпускников бакалавриата и специалитета ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» (ФГБОУ ВО УГГУ).

*Методика проведения исследования.* Оценка была осуществлена путем анкетирования студентов последнего курса экологических, гуманитарных и технических специальностей и направлений подготовки бакалавриата. В анкетах студентам было предложено высказать свое мнение о необходимости освоения 12 элементов экологической компетентности в рамках когнитивного, деятельностно-поведенческого, мотивационно-ценностного, эмоционально-волевого и рефлексивного ее компонентов.

*Результаты исследования.* Сравнение мнений выпускников вуза и руководителей предприятий о необходимости наличия тех или иных элементов экологической компетентности у работников организаций показало, что у руководителей предприятий более высокие требования практически по всем элементам экологической компетентности, чем у выпускников горного вуза.

*Выводы.* Необходимо повышение экологической сознательности обучающихся в вузе студентов путем создания соответствующих образовательно-педагогических условий.

*Ключевые слова:* окружающая среда; экологическое образование; экологические компетенции; бакалавриат; специалитет; горный вуз; федеральные государственные образовательные стандарты; руководители предприятий.

**Введение.** Неблагоприятная экологическая обстановка во многих городах России, а также необходимость обеспечения должного качества окружающей среды для жизни населения и экологически устойчивого развития экономики привели к осознанию важности экологического образования, которое представляет собой процесс обучения и накопления опыта, направленный на формирование ценностных ориентаций, норм поведения и получение специальных знаний, умений и навыков по охране окружающей среды и рациональному природопользованию [1].

В соответствии с Федеральным законом РФ «Об охране окружающей среды» 2002 г. экологическое образование имеет статус приоритетного направления в деятельности образовательных учреждений России и осуществляется на всех действующих в России с 1 сентября 2013 г. уровнях образования, важнейшими из которых являются бакалавриат и специалитет. В соответствии с Болонским соглашением в качестве приоритетного рассматривается компетентностный подход, целью которого является подготовка компетентного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, готового к постоянному профессиональному росту бакалавра (специалиста) [2]. Результатами обучения выпускников вузов по различным образовательным про-

граммам высшего образования выступают наборы общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, среди которых присутствуют экологические компетенции, позволяющие ориентироваться в экологической обстановке, предвидеть и минимизировать экологические риски.

*Экологическая компетенция* – это индивидуальная характеристика степени ответственности обучающегося установленным уровням экологических знаний, умений, навыков, направленных на формирование экологического сознания [3]. С точки зрения большинства исследователей [3–7], экологические компетенции обучающегося имеют следующий компонентный состав: когнитивный (владение необходимой системой экологических знаний), деятельностно-поведенческий (опыт использования экологической компетенции в разнообразных стандартных и нестандартных ситуациях), мотивационно-ценностный (готовность к демонстрации наличия экологических компетенций), эмоционально-волевой и рефлексивный (способность человека к оценке собственного отношения к окружающему природному миру, стремление и готовность к самообразованию).

Обладание выпускниками высшего учебного заведения необходимыми экологическими компетенциями говорит о выполнении важной функции образования, заключающейся в подготовке практико-ориентированных руководителей и специалистов [8]. Это очень важно для работы на потенциально экологически опасных промышленных предприятиях. К таким относятся горные предприятия, которые оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду [9, 10]. В связи с этим особой задачей ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» (ФГБОУ ВО УГГУ) является осуществление экологической подготовки будущих управленческих кадров горных предприятий.

**Целью работы** явилась оценка наличия и востребованности экологических компетенций у выпускников горного вуза.

**Объектом исследования** выступила экологическая компетентность студентов-выпускников бакалавриата и специалитета ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» (ФГБОУ ВО УГГУ).

**Методика проведения исследования.** На первом этапе исследования был проведен анализ федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования ФГОС ВО 3+ по реализуемым в ФГБОУ ВО УГГУ экологическим, гуманитарным и техническим образовательным программам высшего образования, который показал следующее. Естественно, что в федеральном стандарте по экологическим направлениям подготовки практически все общепрофессиональные и профессиональные компетенции являются экологическими. Среди компетенций, указанных во ФГОС ВО по гуманитарным направлениям подготовки, экологическая компетенция как самостоятельная отсутствует. Однако следует заметить, что определенный уровень экологической компетентности должен быть у гуманитариев – будущих менеджеров и экономистов, обязанных при выполнении своих функций в плане принятия управленческих решений и их экономического обоснования учитывать экологические аспекты. Поэтому будем считать, что экологическая компетенция косвенно учтена путем включения в ряд общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций. Например, во ФГОС ВО по направлению подготовки 38.03.01 «Экономика» (уровень бакалавриата) представлена общепрофессиональная компетенция «Способность находить организационно-управленческие решения в профессиональной деятельности и готовность нести за них ответственность (ОПК-4)», во ФГОС ВО по направлению подготовки 38.03.02 «Менеджмент» (уровень бакалавриата) – общепрофессиональная компетенция «Способность находить организационно-управленческие решения и готовность нести за них ответственность с позиций социальной значимости принимаемых решений (ОПК-2)».

Очень важен высокий уровень экологической компетентности выпускника любого технического направления подготовки (специальности). Это объясняется тем, что в условиях масштабных проектов от инженера требуется решение сложных технических задач, разработка систем, компонентов или процессов, которые удовлетворяют заданным требованиям производства и учитывают социальные и экологические аспекты [6]. В связи с этим во ФГОС ВО по техническим направлениям подготовки (специальностям) экологические компетенции представлены в большом количестве. Например, по основной реализуемой в ФГБОУ ВО УГГУ специальности 21.05.04 «Горное дело» присутствуют следующие общекультурные (ОК) и профессиональные (ПК) компетенции (по видам деятельности):

- готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-6);

- готовность демонстрировать навыки разработки планов мероприятий по снижению техногенной нагрузки производства на окружающую среду при эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов (ПК-5, производственно-технологическая деятельность);

- владение законодательными основами недропользования и обеспечения экологической и промышленной безопасности работ при добыче, переработке полезных ископаемых, строительстве и эксплуатации подземных сооружений (ПК-10, организационно-управленческая деятельность);

- готовность демонстрировать навыки разработки систем по обеспечению экологической и промышленной безопасности при производстве работ по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, строительству и эксплуатации подземных объектов (ПК-21, проектная деятельность).

Кроме того, для конкретных специализаций выделены следующие профессионально-специализированные компетенции:

- владение методами снижения нагрузки на окружающую среду и повышения экологической безопасности горного производства при подземной разработке месторождений пластовых/рудных полезных ископаемых (ПСК-1.6, разработка пластовых месторождений / ПСК-2.6, разработка рудных месторождений);

- способность проектировать природоохранную деятельность (ПСК-3.5, открытые горные работы);

- готовность осуществлять планирование горных работ и маркшейдерский контроль состояния горных выработок, зданий, сооружений и земной поверхности на всех этапах освоения и охраны недр с обеспечением промышленной и экологической безопасности (ПСК-4.2, маркшейдерское дело);

- способность разрабатывать технологические схемы и календарный план строительства, выбирать способы, технику и технологию горно-строительных работ, ориентируясь на инновационные разработки, обеспечивать технологическую и экологическую безопасность жизнедеятельности, составлять необходимую и финансовую документацию (ПСК-5.3, шахтное строительство);

- способность выбирать и рассчитывать основные технологические параметры эффективного и экологически безопасного производства работ по переработке и обогащению минерального сырья на основе знаний принципов проектирования технологических схем обогащительного производства и выбора основного и вспомогательного оборудования (ПСК-6.3, обогащение полезных ископаемых);

- готовность осуществлять комплекс организационных и технических мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации горных машин и оборудования и снижению их техногенной нагрузки на окружающую среду (ПСК-9.4, горные машины и оборудование).

**Таблица 1. Результаты оценки руководителями и специалистами предприятий в баллах необходимого уровня экологической компетентности работников предприятия****Table 1. The results of the estimation by the heads and the specialists of enterprises in grades of the required level of ecological competence among the workers of an enterprise**

Элемент экологической компетентности	ОАО Высокогорский ГОК	АО РН-Нягань-нефтегаз	АО Русская медная компания	АО Среднеуральский металлургический завод	ОАО Уральское карьероуправление	ПАО Банк ВТБ	Средний балл по предприятиям
1) обязан знать важнейшие проблемы взаимодействия природы и человеческого общества	4	4	4	3	4	5	4,0
2) должен оперировать основными экологическими понятиями и терминами	5	4	5	3	4	2	3,8
3) должен владеть знаниями нормативно-правовых основ природопользования	5	5	5	4	3	4	4,3
4) обязан знать возможные пути решения экологических проблем	4	4	5	3	4	4	4,0
5) должен следовать этическим нормам в отношении природы	4	3	4	3	3	5	3,7
6) соблюдает нормы здорового образа жизни	3	3	3	2	3	4	3,0
7) умеет действовать в различных экологических ситуациях	4	4	5	3	4	4	4,0
8) способен обеспечивать соблюдение экологических требований	4	4	5	4	4	4	4,2
9) готов повышать свою грамотность в вопросах экологии	4	5	5	5	4	5	4,7
10) имеет ценностную ориентацию на сохранение природы	5	4	5	3	4	5	4,2
11) умеет прогнозировать экологические последствия своей профессиональной деятельности	5	4	5	4	4	4	4,3
12) готов нести ответственность за последствия своих решений в области экологической безопасности	5	5	5	4	4	4	4,5

В проекте ФГОС ВО 3++ по специальности 21.05.04 «Горное дело», который должен быть утвержден и реализован с 01.01.2019 г., представлены следующие экологические компетенции:

– владение законодательными основами недропользования и обеспечения экологической и промышленной безопасности при поисках, разведке и разработке месторождений твердых полезных ископаемых, строительстве и эксплуатации подземных объектов (ОПК-2);

– готовность демонстрировать навыки разработки и реализации планов мероприятий по снижению техногенной нагрузки производства на окружающую среду при эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, а также при строительстве и эксплуатации подземных объектов (ОПК-10);

– готовность демонстрировать навыки разработки систем по обеспечению экологической и промышленной безопасности при производстве работ по эксплуатационной разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, строительству и эксплуатации подземных объектов (ОПК-16).

На втором этапе исследования сотрудниками кафедры экономики и менеджмента и социологической лаборатории ФГБОУ ВО УГГУ были осуществлены диагностика наличия и оценка востребованности экологических компетенций у выпускников бакалавриата и специалитета данного вуза с помощью их анкетного опроса (март 2018 г.). Были опрошены студенты последних курсов очного обучения (бакалавриата – 4 курса, специалитета – 5 курса) экологических направлений подготовки: 20.03.01 «Техносферная безопасность» (ТБ), 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» (ПВ), гуманитарных направлений подготовки: 38.03.01 «Экономика» (Э), 38.03.02 «Менеджмент» (М), а также технических специальностей и направлений подготовки бакалавриата: 29.03.04 «Технология художественной обработки материалов» (ТХО), 21.05.02 «Прикладная геология» (ПГ), 21.05.04 «Горное дело» (ГД). В анкетах студентам было предложено высказать свое мнение о необходимости тех или иных элементов экологической компетентности у работников предприятий и оценить свою экологическую компетентность. Важность каждого элемента экологической компетентности определялась по 6-балльной шкале: 0 – полное отсутствие, 1 – низкий уровень, 2 – ниже среднего, 3 – средний уровень, 4 – высокий уровень, 5 – устойчиво высокий уровень.

Всего было предложено 12 элементов экологической компетентности, отражающих когнитивный (1–4), деятельностно-поведенческий (5–8), мотивационно-ценностный (9–10), эмоционально-волевой и рефлексивный (11–12) компоненты:

1) знает важнейшие проблемы взаимодействия природы и человеческого общества;

2) оперирует основными экологическими понятиями и терминами;

3) владеет знаниями нормативно-правовых основ природопользования;

4) знает возможные пути решения экологических проблем;

5) следует этическим нормам в отношении природы;

6) соблюдает нормы здорового образа жизни;

7) умеет действовать в различных экологических ситуациях;

8) способен обеспечивать соблюдение экологических требований;

9) готов повышать свою грамотность в вопросах экологии;

10) имеет ценностную ориентацию на сохранение природы;

11) умеет прогнозировать экологические последствия своей профессиональной деятельности;

12) готов нести ответственность за последствия своих решений в области экологической безопасности.

Результаты исследования показали, что вне зависимости от групп специальностей и направлений подготовки (экологические, гуманитарные и технические) в среднем выпускники вуза считают, что работники предприятий по каждому элементу экологической компетентности должны иметь средний или высокий уровень (табл. 1). Самый высокий средний балл (4,4) продемонстрировал элемент «12),

**Таблица 2. Сравнение мнений выпускников вуза и руководителей предприятий о необходимости выраженности тех или иных элементов экологической компетентности у работников организаций**

**Table 2. College graduates' and heads' of enterprises opinions comparison on the need for any given elements of a worker's ecological competence**

Элемент экологической компетентности	Средний балл по оценке предприятий	Средний балл по оценке выпускников вуза	Средний балл по самооценке выпускников вуза
1) обязан знать важнейшие проблемы взаимодействия природы и человеческого общества	4,0	3,9	3,2
2) должен оперировать основными экологическими понятиями и терминами	3,8	3,4	2,8
3) должен владеть знаниями нормативно-правовых основ природопользования	4,3	3,8	2,9
4) обязан знать возможные пути решения экологических проблем	4,0	3,9	3,1
5) должен следовать этическим нормам в отношении природы	3,7	4,1	3,4
6) соблюдает нормы здорового образа жизни	3,0	3,4	3,3
7) умеет действовать в различных экологических ситуациях	4,0	3,8	3,0
8) способен обеспечивать соблюдение экологических требований	4,2	4,1	3,2
9) готов повышать свою грамотность в вопросах экологии	4,7	4,0	3,5
10) имеет ценностную ориентацию на сохранение природы	4,2	4,1	3,5
11) умеет прогнозировать экологические последствия своей профессиональной деятельности	4,3	4,1	3,2
12) готов нести ответственность за последствия своих решений в области экологической безопасности	4,5	4,4	3,5

касающийся готовности нести ответственность за последствия своих решений в области экологической безопасности, который относится к эмоционально-волевому и рефлексивному компоненту». Оценка собственной экологической компетентности показала более скромные результаты: в среднем 3 балла по всем элементам экологической компетентности. Самый высокий средний балл (3,5)

получили элементы: «9) готов повышать свою грамотность в вопросах экологии» и «10) имею ценностную ориентацию на сохранение природы», которые относятся к мотивационно-ценностному компоненту, а также «12) готов нести ответственность за последствия своих решений в области экологической безопасности», который относится к эмоционально-волевому и рефлексивному компоненту (табл. 1).

Руководители и специалисты предприятий заинтересованы в том, чтобы выпускники горного вуза – будущие управленческие работники горных предприятий – обладали экологическими компетенциями. Это показало анкетирование, результаты которого представлены в табл. 2. Самый высокий средний балл получили следующие элементы экологической компетентности: «9) готов повышать свою грамотность в вопросах экологии» (4,7), который относится к мотивационно-ценностному компоненту, а также «12) готов нести ответственность за последствия своих решений в области экологической безопасности» (4,5), который относится к эмоционально-волевому и рефлексивному компоненту.

Сравнение мнений выпускников вуза и руководителей предприятий о необходимой степени выраженности тех или иных элементов экологической компетентности у работников организаций, представленное в табл. 2, показало, что у руководителей предприятий более высокие требования практически по всем элементам экологической компетентности, чем у выпускников вуза. Требования руководителей предприятий находятся в среднем на уровне 4 баллов, демонстрирующей высокий уровень важности. Самооценка же выпускников вуза – чуть выше 3 баллов, характеризующих средний уровень. Это говорит о необходимости повышения экологической подготовки обучающихся в вузе студентов.

**Выводы.** Для обеспечения должного уровня экологической компетентности студентов вуза необходимы соответствующие образовательно-педагогические условия [11, 12], которые в той или иной мере обеспечиваются в ФГБОУ ВО УГГУ. Среди них можно выделить следующие: высокий уровень экологической культуры профессорско-преподавательского состава; экологизацию учебных дисциплин и практик; экологически ориентированные научно-исследовательские работы студентов под руководством преподавателей; включение экологических разделов в состав выпускных квалификационных работ; проведение экологических акций (например, субботников); проведение экскурсий по предприятиям с целью ознакомления с примерами осуществления природоохранных и ресурсосберегающих мероприятий.

Высокий уровень экологической компетентности выпускников горного вуза необходим с точки зрения решения ими в будущем таких проблем, как экологическая модернизация инфраструктуры и переоборудование горных предприятий, применение экологически безопасных технологий и промышленных процессов, повышение эффективности использования ресурсов и т. п.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черкашин А. А., Уланова О. В. Экологическое образование в России в рамках концепции устойчивого развития. URL: <http://ecamir.ru/experts/Ekologicheskoe-obrazovanie-v-Rossii-v-ramkakh-kontseptsii-ustoychivogo-gazvitiya.html> (дата обращения: 06.06.2018).
2. Брянкин К. В., Авдеева А. В., Брянкина Л. В. Системы обеспечения качества образовательных программ на основе принципов Болонского процесса // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 1. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27371> (дата обращения: 06.06.2018).
3. Даниленкова В. А. Формирование экологической компетентности у студентов технического вуза: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Калининград, 2005. 27 с.
4. Пастухова Л. А. Экологические компетенции выпускников военного вуза: определение содержания на основе требований работодателей // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2013. № 4 (60). С. 171–173.
5. Секлетова Н. Н., Тучкова А. С. Компоненты профессионально-экологической компетентности выпускника технического вуза // Приволжский научный вестник. 2016. № 12-1 (64). С. 101–103.

6. Томаков В. И. Экологическая компетентность – ключевое профессиональное качество выпускника инженерного вуза // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 10. С. 49–55.
7. Пистунова Л. Е. Формирование экологической компетентности студентов вуза: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Кемерово, 2006. 23 с.
8. Asafova E. V. The development of ecological culture of students in the design and creative activity // Proc. "Social and Behavioral Sciences". 2015. № 191. P. 2329–2333. URL: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F228820094/Asafova\\_Procedia.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F228820094/Asafova_Procedia.pdf) (дата обращения: 06.06.2018).
9. Hryshchenko S., Morkun V. Formation of ecological competence of future engineers of mining profile on the basis of geoinformation technologies. URL: [http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2016\\_8/006Hryshchenko.pdf](http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2016_8/006Hryshchenko.pdf) (дата обращения: 06.06.2018).
10. Стровский В. Е., Косолапов О. В. Эколого-экономическая система горного предприятия: структура и взаимосвязи // Известия УГГУ. 2017. № 4. С. 118–122.
11. Бутакова М. В. Экологическая компетентность студентов и организационно-педагогические условия ее формирования. URL: <http://elibrary.ru> (дата обращения: 06.06.2018).
12. Ковалев Р. С., Тарасова Е. В. Экскурсия как эффективная форма экологического образования // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 1. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27428> (дата обращения: 06.06.2018).

Поступила в редакцию 8 июня 2018 года

Для цитирования: Мочалова Л. А., Кох И. А. Оценка освоения экологических компетенций выпускниками горного вуза // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 135–143.

#### Сведения об авторах:

**Мочалова Людмила Анатольевна** – доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики и менеджмента Уральского государственного горного университета. E-mail: [lyudmila.mochalova@m.ursmu.ru](mailto:lyudmila.mochalova@m.ursmu.ru)

**Кох Иван Адамович** – доктор социологических наук, доцент, заведующий кафедрой философии и культурологии, руководитель социологической лаборатории Уральского государственного горного университета. E-mail: [kia4@mail.ru](mailto:kia4@mail.ru)

### ASSESSMENT OF ECOLOGICAL COMPETENCES MASTERING BY THE GRADUATE STUDENTS OF MINING INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION

Mochalova L. A.<sup>1</sup>, Kokh I. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

*Research aim* is to assess the presence and demand for ecological competences among mining graduate students.

*The subject of the research* is ecological competence of the students of the bachelor degree course and specialist's degree of FSBEI of Higher Education "Ural State Mining University" (FSBEI HE UrSMU).

*Research methodology.* The assessment was carried out by means of questionnaire survey among the last year students of ecological, humanitarian, and engineering bachelor degree disciplines and training programs. In the questionnaires the students were suggested to voice their opinion on the need to master 12 elements of ecological competence within its cognitive, activity and behavioral, motivational and value, emotional and volitional, and reflexive components.

*Research results.* College graduates' and heads' of enterprises opinions comparison on the need for any given elements of a worker's ecological competence has shown that the heads of enterprises demand higher requirements regarding all elements of ecological competence, than the graduate students.

*Conclusion.* It is required to increase ecological consciousness among the students by means of creating corresponding educational and pedagogical conditions.

**Key words:** environment; ecological education; ecological competences; bachelor degree course; specialist's degree; mining institutions of higher education; federal state educational standards; heads of enterprises.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-8-135-143

#### REFERENCES

1. Cherkashin A. A., Ulanova O. V. [Ecological education in Russia within the concept of sustainable development]. Available at: <http://ecamir.ru/experts/Ekologicheskoe-obrazovanie-v-Rossii-v-ramkakh-kontseptsii-ustoychivogo-razvitiya.html> (Access date 6th June, 2018). (In Russ.)
2. Briankin K. V., Avdeeva A. V., Briankina L. V. [Systems of providing the quality of educational programs based on the principles of the Bologna process]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia – Modern*



- Problems of Science and Education*, 2018, no. 1. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27371> (Access date 6th June, 2018). (In Russ.)
3. Danilenkova V. A. [The formation of ecological competence among the students of an engineering institution of higher education. Cand. ped. sci. abs. diss.]. Kaliningrad, 2005. 27 p.
  4. Pastukhova L. A. [Ecological competences of the graduate students of a military institution of higher education: determination of the content based on the requirement of the employers]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii – Bulletin of Saint Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*, 2013, no. 4 (60), pp. 171–173. (In Russ.)
  5. Sekletova N. N., Tuchkova A. S. [The components of professional-ecological competence of the engineering graduate]. *Privolzhskii nauchnyi vestnik – Volga Scientific Bulletin*, 2016, no. 12-1 (64), pp. 101–103. (In Russ.)
  6. Tomakov V. I. [Ecological competence is a key professional quality of an engineering graduate]. *Bezopasnost' zhiznedatel'nosti – Life Safety*, 2010, no. 10, pp. 49–55. (In Russ.)
  7. Pistunova L. E. [The formation of ecological competence among the students of an institution of higher education. Cand. ped. sci. abs. diss.]. Kemerovo, 2006. 23 p.
  8. Asafova E. V. The development of ecological culture of students in the design and creative activity // Proc. “Social and Behavioral Sciences”, 2015, no. 191, pp. 2329–2333. Available at: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F228820094/Asafova\\_Procedia.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F228820094/Asafova_Procedia.pdf) (Access date 6th June, 2018).
  9. Hryshchenko S., Morkun V. Formation of ecological competence of future engineers of mining profile on the basis of geoinformation technologies. Available at: [http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI\\_2016\\_8/006Hryshchenko.pdf](http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2016_8/006Hryshchenko.pdf) (Access date 6th June, 2018).
  10. Strovskii V. E., Kosolapov O. V. [Ecological-economic system of a mining enterprise: structure and interconnections]. *Izvestiya Ural'skogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta – News of the Ural State Mining University*, 2017, no. 4, pp. 118–122. (In Russ.)
  11. Butakova M. V. [Ecological competence of the students and the organizational and pedagogical conditions of its formation]. Available at: <http://elibrary.ru> (Access date 6th June, 2018). (In Russ.)
  12. Kovalev R. S., Tarasova E. V. [Excursion as an effective form of ecological education]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia – Modern Problems of Science and Education*, 2018, no. 1. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27428> (Access date 6th June, 2018). (In Russ.)

#### Information about authors:

**Mochalova Liudmila Anatol'evna** – Doctor of Economic Science, Associate Professor, Head of the Department of Economy and Management, Ural State Mining University. E-mail: [lyudmila.mochalova@m.ursmu.ru](mailto:lyudmila.mochalova@m.ursmu.ru)

**Kokh Ivan Adamovich** – Doctor of Sociological Science, Associate Professor, Head of the Department of Philosophy and Culture Studies, head of the Sociological Laboratory, Ural State Mining University. E-mail: [kia4@mail.ru](mailto:kia4@mail.ru)

---

# ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2018 ГОДУ

## № 1–№ 4

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<b>РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ</b>		
<i>Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д., Кокарев К. В.</i> Проблемы отработки предохранительных целиков при эксплуатации рудных месторождений.....	2	4
<i>Голик В. И., Разоренов Ю. И., Каргинов К. Г., Носырев М. Б.</i> Активация вяжущих для твердеющих смесей .....	1	8
<i>Егошина О. С., Александров Б. М.</i> Определение группового состава органической массы торфа на основе генетической классификации с учетом данных детальной разведки.....	1	15
<i>Кузнецов Д. В., Косолапов А. И.</i> Исследование динамики концентрации горного оборудования в условиях глубоких карьеров Севера.....	1	22
<i>Кузнецов Д. В., Косолапов А. И.</i> Оценка целесообразности перехода на новые комплексы горнотранспортного оборудования при доработке глубоких карьеров .....	4	4
<i>Соколов И. В., Смирнов А. А., Антипин Ю. Г., Барановский К. В., Никитин И. В., Рожков А. А., Соломеин Ю. М., Дедов О. Ю.</i> Особенности подземной разработки Ветренского золоторудного месторождения.....	4	12
<b>РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b>		
<i>Голик В. И., Разоренов Ю. И.</i> Упрочнение сырьевой базы рудных месторождений Урала.....	2	10
<i>Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Савичев А. Н.</i> Надежные методы организации горных работ для получения концентратов особо чистого кварца.....	4	23
<i>Худеньких К. О.</i> Особенности распространения сульфатных пород и приуроченных к ним месторождений гипса на территории Российской Федерации .....	3	4
<b>ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ. ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ</b>		
<i>Кубарев М. С.</i> Трансформация целей, задач и механизмов государственного регулирования природопользования в свете устойчивого развития .....	3	14
<b>ДОБЫЧА НЕФТИ И ГАЗА</b>		
<i>Смородова О. В., Байков И. Р., Китаев С. В., Бережнов Д. А.</i> Оценка интегральных показателей промышленной безопасности объектов магистрального транспорта газа.....	1	30
<b>СТРОИТЕЛЬСТВО ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ</b>		
<i>Корнилков М. В., Петряев В. Е., Канков Е. В., Половов Б. Д.</i> Опыт решения задач оценки качества установки железобетонных анкеров в условиях действующих горных предприятий Урала .....	2	17
<i>Латышев О. Г., Прищепина Д. В., Казак О. О.</i> Прогноз смещений горных пород для определения нагрузки на крепь подземной выработки .....	2	23
<i>Орлов А. О., Смирнов Ю. Г.</i> Оценка конструктивно-компоновочных решений подземных комплексов для атомных станций малой мощности в Арктических регионах России .....	4	29
<b>МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ</b>		
<i>Гордеев В. А., Раева О. С.</i> Влияние геометрического фактора на точность спутникового позиционирования.....	3	26

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Коновалов В. Е., Германович Ю. Г.</i> Миграция вещества при добыче полезных ископаемых и их первичной переработке .....	2	30
<b>ГЕОМЕХАНИКА</b>		
<i>Абрамов Н. Н., Мелихов М. В.</i> Особенности обеспечения геодинамической безопасности скальных откосов при эксплуатации объектов капитального строительства .....	4	46
<i>Ефремов Е. Ю., Панжин А. А., Харисов Т. Ф., Харисова О. Д.</i> Исследование геомеханических условий разработки Киембаевского месторождения открытым способом .....	4	35
<i>Латышев О. Г., Франц В. В.</i> Оценка устойчивости породного массива, ослабленного трещиной .....	1	36
<i>Миренков В. Е.</i> Расчет деформирования пород с учетом статического, кинематического и динамического аспектов в процессе ведения очистных работ .....	4	54
<b>ЭКОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b>		
<i>Студенок Г. А.</i> Геоэкологическое обоснование технологии очистки дренажных вод горного предприятия от соединений азота в отработанной горной выработке .....	3	32
<b>ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДЕЛИ</b>		
<i>Баширов Н. Р.</i> Метод динамического проектирования отвалов при предварительной симуляции воздушного потока .....	2	40
<i>Леонов Р. Е.</i> Исследование машинного обучения прогнозу параметров обогатительного процесса .....	1	42
<i>Леонов Р. Е.</i> Обучение компьютера распознаванию характеристик железных руд .....	3	40
<b>РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД. БУРОВЗРЫВНОЕ ДЕЛО</b>		
<i>Боровков Ю. А., Деревяшкин И. В., Якшибаев Т. М.</i> Аналитические исследования определения параметров полостей, создаваемых в многорудном рудном штабеле для кучного выщелачивания золота при камуфлетном взрыве вертикальных скважин .....	4	72
<i>Жариков С. Н.</i> Изучение сейсмоустойчивости горного массива на предельном контуре карьера для производства заоткосных работ .....	2	48
<i>Жариков С. Н., Тимофеев И. Н., Гуленков Э. В., Бушков В. К.</i> Совершенствование буровзрывных работ на предельном контуре карьера ..	1	48
<i>Насиров У. Ф., Умаров Ф. Я., Махмудов Д. Р., Заиров Ш. Ш.</i> Исследование размеров зон раздавливания и трещинообразования при взрывном разрушении горных пород .....	2	54
<i>Норов Ю. Д., Умаров Ф. Я., Уринов Ш. Р., Махмудов Д. Р., Заиров Ш. Ш.</i> Теоретические исследования параметров подпорной стенки при различных формах зажатой среды из взорванной горной массы .....	4	64
<i>Пергамент В. Х., Бурмистров К. В., Овсянников М. П., Даутбаев З. Р.</i> Определение параметров безопасного производства взрывных работ на нагорных карьерах вблизи коммуникаций .....	3	45
<i>Саплин О. Н., Титов Д. Ю., Шулаков Д. Ю., Гусев А. И.</i> Исследование влияния взрывных работ на безопасную эксплуатацию инфраструктурных объектов горного производства .....	1	66
<i>Соколов И. В., Смирнов А. А., Рожков А. А.</i> Повышение эффективности добычи кварца применением плоской системы рассредоточенных зарядов .....	1	56

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<b>МЕХАНИЗАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ. ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ</b>		
<i>Андреева Л. И., Красникова Т. И., Лапшинов В. А.</i> Резервы ремонтного производства: стандартизация процессов .....	2	61
<i>Юдин А. В., Шестаков В. С.</i> Разработка расчетной схемы и описание движения грохота с каскадной просеивающей поверхностью на основе двухмассной колебательной системы .....	4	81
<b>ГОРНАЯ МЕХАНИКА</b>		
<i>Копачев В. Ф., Афанасьев А. И.</i> Аэродинамический расчет шахтных осердиальных вентиляторов .....	3	51
<b>ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ РАБОТ</b>		
<i>Лысова О. А., Фрайштетер В. П., Смирнов А. Ю.</i> Анализ способов пуска установок центробежных электронасосов в осложненных условиях .....	4	87
<b>ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ</b>		
<i>Афанасьев А. И., Казаков Ю. М., Суслов Д. Н., Чиркова А. А.</i> Периодические решения вынужденных колебаний рабочего органа вибротранспортной машины с учетом действия возмущающей нагрузки и силы трения в опорах .....	1	71
<i>Афанасьев А. И., Суслов Д. Н., Чиркова А. А.</i> Анализ эффективности работы вибровозбудителей резонансных вибротранспортных машин.	2	68
<i>Гутаревич В. О., Рябоко Е. В.</i> Методика расчета механических напряжений в огневом днище крышки цилиндра дизеля горнотранспортной машины .....	3	65
<i>Каунг Пьей Аунг, Кубрин С. С., Певзнер Л. Д., Дмитриева В. В.</i> Разработка системы управления скоростью движения ленты двухприводного ленточного конвейера .....	3	57
<i>Муленкова А. О., Дроздова Н. А., Демченко И. И.</i> Определение массогабаритных параметров емкостей для доставки сортового угля из забоя разреза потребителю .....	2	76
<b>РУДОПОДГОТОВКА И ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ</b>		
<i>Брагин В. Г., Волков Е. Б.</i> Имитационная модель и расчет технологических параметров замкнутого цикла мокрого измельчения магнетитовых руд .....	1	78
<i>Мамонов С. В., Газалева Г. И., Дресвянкина Т. П., Волкова С. В., Васильев И. Д.</i> Повышение технологических показателей переработки отвальных шлаков медеплавильного производства на основе их медленного охлаждения и ультратонкого измельчения .....	2	83
<i>Пестряк И. В., Морозов В. В.</i> Исследование влияния ионов меди на поверхностные свойства и флотлируемость молибденита .....	3	72
<i>Чижевский В. Б., Фадеева Н. В., Гмызина Н. В.</i> Влияние состава и свойств реагентов на флотацию графита .....	3	82
<i>Юдин А. В.</i> Моделирование вероятности процесса извлечения фракций на колосниковой просеивающей поверхности с открытой щелью .....	2	91
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b>		
<i>Аликулов Ш. Ш., Собиров Ж., Хайдарова М. Э.</i> Исследования и внедрение способов ограничения растекания продуктивных растворов и интенсификации технологических процессов подземного выщелачивания .....	3	100
<i>Закорименный И. М., Кубрин С. С., Янченко Г. А.</i> Расчет показателей материального баланса процесса сжигания угля в подземных условиях при дефиците необходимых исходных данных .....	3	90

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Шишлянников Д. И., Зверев В. Ю., Лигинькова Я. С.</i> Ингибиторная защита установок электроцентробежных насосов в условиях, осложненных отложениями солей и коррозией.....	1	90
<b>ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА</b>		
<i>Бабочкин Г. И., Шпрехер Д. М., Колесников Е. Б.</i> Контроль технического состояния исполнительного органа выемочных машин.....	1	107
<i>Глушкова Т. А., Савин Е. А., Талалай А. Г.</i> Рентгенофлуоресцентный анализ титано-циркониевого сырья.....	4	97
<i>Давыдов В. А.</i> Интерпретация импедансных данных радиокип сверхдлинноволновых радиостанций с построением двухслойных геоэлектрических разрезов.....	1	99
<i>Давыдов В. А., Байдинов С. В., Горшков В. Ю., Маликов А. В., Федорова О. И., Астафьев П. Ф.</i> Результаты комплексных геофизических исследований на полигоне месторождения «Свердловское» .....	4	112
<i>Калашиник А. И., Дьяков А. Ю., Абрамов Н. Н.</i> Комплексование георадарного и сейсмического зондирования дамбы хвостохранилища....	4	104
<i>Марчевская В. В., Мухина Т. Н., Хашковская Т. Н.</i> Распределение ценных металлов в измельченных малосульфидных платинометаллических рудах Кольского полуострова.....	2	105
<i>Федорова О. И.</i> Электрические зондирования комбинированной трехэлектродной установкой AMN+NMA .....	1	115
<i>Филатов В. В., Болотнова Л. А.</i> Горизонтальные сдвиговые зоны и их отражение в гравитационном поле.....	2	97
<b>ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ</b>		
<i>Таугер В. М., Мухачева Л. В., Волков Е. Б.</i> Предотвращение резонансных колебаний рабочих лопаток осевых вентиляторов .....	4	119
<b>ПРОБЛЕМЫ ГОРНЫХ НАУК</b>		
<i>Ершова Т. Л., Бедрина С. А., Германович Ю. Г.</i> Внедрение «умных» технологий в горнодобывающей отрасли.....	4	124
<b>ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРНОГО ДЕЛА</b>		
<i>Клепко В. Л., Коновалов В. Е.</i> Системы координат в геодезии (к 90-летию со дня введения в СССР системы плоских прямоугольных координат Гаусса–Крюгера).....	3	107
<b>ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА. РЕЦЕНЗИИ</b>		
<i>60 лет научному изданию «Известия вузов. Горный журнал» .....</i>	1	4
<i>К юбилею Анатолия Дмитриевича Сашурина .....</i>	3	112
<i>К юбилею Михаила Викторовича Корнилкова.....</i>	2	113
<i>Памяти главного редактора Михаила Викторовича Корнилкова.....</i>	3	114

## № 5–№ 8

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<b>ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ</b>		
<i>Акишев А. Н., Лель Ю. И., Бокий И. В., Исаков С. В., Глебов И. А.</i> Инновационная технология открытой разработки кимберлитовых месторождений с изменяемой геометрией нерабочих бортов карьера (In English) .....	8	5

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Викулов В. М.</i> Обоснование эффективности конструкций восходящей анкерной крепи и оценка устойчивости ограждений стен глубоких котлованов.....	7	28
<i>Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Апакашев Р. А., Дружинин А. В., Белов В. А.</i> Использование геомембранных экранов на горнопромышленных предприятиях.....	8	16
<i>Зубков А. В., Смирнов О. Ю.</i> Результаты исследования условий отработки открытым способом крутопадающих мощных рудных тел.....	7	5
<i>Кантемиров В. Д., Титов Р. С., Яковлев А. М.</i> Обоснование оптимальной производственной мощности глубоких кимберлитовых карьеров	5	14
<i>Котяшев А. А.</i> Закономерности изменения условий и показателей эксплуатации буровзрывного комплекса на открытых горных разра- ботках .....	8	34
<i>Кузнецов П. Ю., Гриб Н. Н.</i> Оценка неоднородности и пространствен- ной изменчивости физико-механических свойств углевмещающих пород на основе величины относительной энтропии .....	5	22
<i>Махно Д. Е., Авдеев А. Н., Перфильев В. А.</i> Перспективы и возможно- сти безлюдной выемки угля .....	7	14
<i>Расулов С. Р., Мамедов А. С., Зейналов Н. Э.</i> Использование поверх- ностно-активных веществ при бурении скважин в истощенных пла- стах.....	7	21
<i>Рыльникова М. В., Федотенко В. С., Есина Е. Н.</i> Совершенствование нормативно-правовой базы обеспечения экологической и промыш- ленной безопасности горных работ как основа внедрения инноваци- онных геотехнологий.....	5	4
<i>Хоменко О. Е., Ляшенко В. И.</i> Ресурсосберегающие технологии добычи руд на больших глубинах .....	8	23
<b>ГЕОМЕХАНИКА. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД</b>		
<i>Абрамов Н. Н., Земцовский А. В.</i> Исследование состояния массива вблизи ответственных подземных выработок и в целике между ними	7	45
<i>Бяков Н. С., Корнилков М. В., Карякин А. Л., Раевская Л. Т.</i> Исследо- вание напряженно-деформированного состояния и оптимизация желе- зобетонной блочной крепи подземного сооружения .....	5	40
<i>Коновалова Ю. П.</i> Особенности учета геодинамических факторов при выборе безопасных площадок размещения ответственных объектов недропользования .....	6	6
<i>Саммалъ А. С., Анциферов С. В., Павлова Н. С.</i> Математическое и компьютерное моделирование напряженно-деформированного состо- яния горного массива, сложенного двумя типами пород, в окрестно- сти напорной круговой выработки (In English) .....	7	37
<i>Тагильцев С. Н.</i> Закономерности пространственного расположения тектонических нарушений в поле современного напряженного состо- яния земной коры.....	7	52
<i>Харисов Т. Ф., Харисова О. Д., Ефремов Е. Ю., Коновалова Ю. П.</i> Ис- следование устойчивости бортов и уступов карьера Киембаевского месторождения.....	5	30
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА. АЭРОГАЗОДИНАМИКА</b>		
<i>Абдуллаев М. Г., Дадаш-заде Х. И.</i> Одномерное движение нефтей с вязко-пластичными свойствами с учетом скин-фактора.....	6	35
<i>Далатказин Т. Ш.</i> Изучение вещественного состава коры выветри- вания в комплексе геодинамической диагностики горного массива ....	8	50
<i>Железняк И. И., Стетюха В. А.</i> О проектировании геотехнологиче- ских скважин в криолитозоне Забайкалья и сопредельных регионов	8	41
<i>Латышев О. Г.</i> Исследование фильтрации растворов поверхностно- активных веществ в скальных породах (In English).....	6	18

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Рзаев Аб. Г., Расулов С. Р.</i> Особенности воздействия подземных вод на микротрещины горных пород .....	8	56
<i>Шинкевич М. В.</i> Зависимость метановыделения от процессов сдвижений пород при ведении подземных горных работ .....	6	28
<b>ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА</b>		
<i>Вдовин А. Г., Иванченко В. С.</i> Каротаж естественного электромагнитного излучения на железорудных месторождениях на примере Гусевогорского и Северо-Тараташского месторождений .....	8	66
<i>Ратушняк А. Н., Байдинов С. В., Телухин В. К.</i> Импульсный индукционный каротаж из обсаженных скважин .....	5	55
<i>Сеидов В. М.</i> Исследование нефти мезозойских отложений Азербайджана: месторождения Мурадханлы .....	6	50
<i>Сясько А. А., Гриб Н. Н., Имаев В. С., Гриб Г. В.</i> Выбор оптимальной методики геофизического контроля целостности гидроизоляции площадок кучного выщелачивания .....	6	41
<i>Тагильцев С. Н., Тагильцев В. С.</i> Особенности проведения и интерпретации фильтрационных опробований при гидрогеологических исследованиях на месторождениях твердых полезных ископаемых .....	5	49
<b>ГЕОИНФОРМАТИКА</b>		
<i>Бабенко А. Г., Котегова Е. В.</i> Структурная идентификация объекта управления в задаче оптимального управления добычным участком (In English) .....	6	59
<i>Барулин А. И.</i> Аналитический способ оценки устойчивости открытых горных выработок методом многоугольника сил .....	5	71
<i>Шарафеева Ю. А., Степачева А. В.</i> Вариограммный анализ пространственной изменчивости содержания оксида фосфора (V) на примере месторождения Апатитовый цирк .....	5	64
<b>ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ</b>		
<i>Козин В. З., Комлев А. С., Водовозов К. А.</i> Проявление и расчет вероятной систематической погрешности результатов опробования на обогатительных фабриках .....	6	69
<i>Козин В. З., Комлев А. С., Волков П. С., Ступакова Е. В.</i> Определение случайных погрешностей подготовки и анализа проб руды и продуктов обогащения .....	5	82
<i>Прокопьев С. А., Пелевин А. Е., Морозов Ю. П.</i> Особенности массопереноса на винтовых аппаратах (In English) .....	7	67
<i>Хонунов Э. А., Шатайлов Ю. Л., Ворончихин С. Л., Шатайлов А. Ю.</i> Влияние магнитного поля на износ мелющих тел, футеровки и дезинтеграцию руд (In English) .....	8	75
<i>Цыпин Е. Ф., Ефремова Т. А., Елизаров Д. Б., Овчинникова Т. Ю.</i> Связь показателей рентгенорадиометрической сепарации с крупностью сортируемых классов .....	6	77
<b>ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ</b>		
<i>Алексеев В. Б.</i> Концепция развития функционала линейных инженерно-технических работников .....	6	93
<i>Алексеев В. Б.</i> Критерий эффективности реализации функционала линейных инженерно-технических работников .....	5	87
<i>Галкина Н. В.</i> Управление формированием синергии для инноваций на предприятии (In English) .....	8	83
<i>Игнатьева М. Н.</i> Эволюция понятия сбалансированности в природопользовании (In English) .....	6	85

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Мельников Н. Н., Бусырев В. М.</i> Рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов недр (In English) .....	7	75
<b>ГЕОЭКОЛОГИЯ, РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ</b>		
<i>Архипов Г. И.</i> Современная оценка ресурсов и производства свинца и цинка в Дальневосточном регионе .....	8	108
<i>Иванова Н. С., Шипилова Е. В., Макаров А. Б.</i> Новый подход к рекультивации горнопромышленных ландшафтов .....	8	102
<i>Карфидова Е. А., Makeев В. М., Кравченко И. М.</i> Моделирование сети поверхностного стока для обеспечения горно-геологической безопасности Верхнекамского месторождения .....	8	91
<i>Коновалов В. Е., Мурашева А. А., Болтыров В. Б.</i> Особенности использования земель горнопромышленной территории .....	8	118
<i>Стровский В. Е., Кубарев М. С.</i> Обеспечение экологической безопасности в условиях моногородов горнопромышленного комплекса.....	6	99
<i>Хазин М. Л., Тарасов П. И., Фурзиков В. В., Тарасов А. П.</i> Эколого-экономическая оценка использования карьерных самосвалов .....	7	85
<b>ГОРНАЯ МЕХАНИКА. ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ТРАНСПОРТ</b>		
<i>Куулар О. О., Шавыраа Ч. Д.</i> Разработка конструкции системы горизонтирования карьерного бурового станка.....	7	104
<i>Лысова О. А., Фрайштетер В. П., Смирнов А. Ю.</i> Методика управления параметрами процесса пуска погружного электродвигателя в осложненных условиях.....	7	95
<i>Ляшенко В. И., Дятчин В. З., Франчук В. П.</i> Исследование, динамический расчет и совершенствование малогабаритного вибрационного питателя для подземных горных работ.....	5	102
<i>Петров А. Г., Авершин А. А., Степанов Е. И.</i> О расширении области применения вентиляторной установки.....	7	109
<i>Реутов А. А.</i> Оптимизация конвейера с загрузочным бункером при ступенчатом регулировании скорости .....	6	109
<i>Таугер В. М., Казаков Ю. М., Волков Е. Б., Леонтьев А. А.</i> Способ управления движением сосуда в системе рудничного пневмоподъема.	5	111
<i>Юдин А. В., Шестаков В. С., Абдулкаримов М. К.</i> Численный анализ колебаний двухмассовой консервативной системы вибрационного грохота для трудногрохотимой горной массы .....	5	93
<i>Яковлев В. Л., Яковлев В. А.</i> Формирование транспортных систем карьеров с учетом адаптации к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений .....	6	118
<b>ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b>		
<i>Угольников А. В., Щеклеина И. Л.</i> Автоматическая система управления песковым насосом .....	6	127
<b>БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b>		
<i>Каюмова А. Н., Харисов Т. Ф., Рыбак С. А.</i> О проблемах обеспечения безопасности в процессе проходки и крепления выработок .....	7	115
<i>Козырев С. А., Амосов П. В.</i> Исследование процесса проветривания тупиковой выработки с учетом утечки-подсоса воздуха через зону обрушения.....	8	125
<b>ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ</b>		
<i>Гончаров С. А.</i> Что должен знать и уметь горный инженер по специальности «Физические процессы горного производства» .....	5	117
<i>Кардапольцева В. Н.</i> Художественная составляющая в образовательной парадигме .....	5	124



Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
<i>Мочалова Л. А., Кох И. А.</i> Оценка освоения экологических компетенций выпускниками горного вуза.....	8	135
<b>ИСТОРИЯ. ИНФОРМАЦИЯ. РЕЦЕНЗИИ</b>		
<i>К юбилею Климента Николаевича Трубецкого</i> .....	5	129
<i>Николаев Ю. А., Мехтиев А. Д.</i> Вклад академика Национальной академии наук Республики Казахстан А. С. Сагинова в создание нового вида транспорта для шахт и карьеров .....	6	135
<i>Сашурин А. Д.</i> Электронный учебник «Геомеханическое обеспечение шахтного и подземного строительства» .....	6	142

---

---

Редакция  
Главный редактор Е. Ф. Цыпин  
Зам. главного редактора О. Г. Латышев, М. Г. Бабенко  
Ответственный секретарь Л. А. Решеткина  
Редакторы Л. Г. Соколова, Л. Ю. Парамонова

Перевод И. В. Шайхутдиновой

Компьютерная верстка Ю. Б. Швецовой

---

Подп. в печать 11.12.2018. Дата выхода в свет 20.12.2018  
Формат 70 x 108 1/16. Печать офсетная  
12,0 усл. печ. л., 11,0 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Заказ 6531  
Цена свободная

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-57227 от 12.03.2014

Редакция «Изв. вузов. Горный журнал»  
620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30, тел.(факс) (343) 257-65-59  
E-mail: [gornij\\_journal@ursmu.ru](mailto:gornij_journal@ursmu.ru)  
<http://mj.ursmu.ru>

Типография ООО «Издательство УМЦ УПИ»  
620078, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2

---

---

**ЖУРНАЛ ПУБЛИКУЕТ СТАТЬИ В СЛЕДУЮЩИХ РАЗДЕЛАХ:**

- **Геотехнология: подземная, открытая, строительная**
- **Геомеханика. Разрушение горных пород**
- **Физические и химические процессы горного производства.**  
**Аэрогазодинамика**
- **Горнопромышленная и нефтегазовая геология, геофизика**
- **Маркшейдерское дело, геодезия и кадастр**
- **Геоинформатика**
- **Обогащение полезных ископаемых**
- **Экономика и управление горным производством**
- **Геоэкология, рациональное природопользование**
- **Горная механика. Горные машины и транспорт**
- **Электрификация и автоматизация горных предприятий**
- **Безопасность горного производства**
- **Высшее горное образование**
- **История. Информация. Рецензии**

