



DOI 10.37539/2949-1991.2023.6.6.009

УДК 622.013.364:622.273.2

Габараев Олег Знаурович, д.т.н., профессор,
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), г. Владикавказ.
Gabaraev Oleg Znaurovich, Professor of the Department of Mining Federal State
Budgetary Educational Institution of Higher Education «North Caucasian Institute of
Mining and Metallurgy (State Technological University)», Vladikavkaz

Сахнов Александр Владимирович, аспирант кафедры
горного дела, Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), г. Владикавказ.
Sakhnov Alexander Vladimirovich, post-graduate student of the Mining
Department Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education «North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy
(State Technological University)», Vladikavkaz

Дедегкаева Нина Таймуразовна, аспирант кафедры
горного дела, Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), г. Владикавказ.
Dedegkaeva Nina Taimurazovna, post-graduate student of the Mining
Department Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education «North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy
(State Technological University)», Vladikavkaz

Гашимова Залина Алиевна, доцент кафедры информационных
технологии и систем, Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), г. Владикавказ
Gashimova Zalina Alievna, associate professor of the Department of Information
Technology and Systems Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education «North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy
(State Technological University)», Vladikavkaz



**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ЗАКЛАДКОЙ В ЗАВИСИМОСТИ
КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАМЕР
DETERMINATION OF THE PARAMETERS
OF ORE DILUTION BY LAYING DEPENDING ON THE DESIGN
PARAMETERS OF THE CHAMBERS**

Аннотация. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование технологии подземной разработки рудных месторождений. Результаты работы могут использоваться на горнорудных предприятиях Российской Федерации ведущих подземную разработку рудных месторождений.

Abstract. The results of theoretical and experimental studies aimed at improving the technology of underground mining of ore deposits are presented. The results of the work can be used at the mining enterprises of the Russian Federation leading underground mining of ore deposits.

Ключевые слова: отработка месторождения, богатая руда, математическое моделирование, разубоживание руды, закладка выработанного пространства.

Keywords: working off of the field, rich ore, mathematical modeling, dilution of ore, laying of the developed space.

Для подземной отработки запасов богатых руд применяют в основном системы разработки с закладкой выработанного пространства. Одним из недостатков применяемых систем является повышенное разубоживание отбиваемой руды закладочным материалом. Основной причиной прихвата закладки при камерных системах разработки является сейсмическое разрушение закладочного массива при буровзрывной отбойке ввиду недостаточной прочности закладочного массива и его расслоения.



Для определения показателей разубоживания руды твердеющей закладкой были проведены исследования в промышленных условиях. По длине отработанных заходок каждой очереди выделяли замерные участки и определяли их линейные размеры - средние по длине участка высоту и ширину заходок по методикам [1-3]. На рисунке 1 показана схема размещения шпуров и устройств в рудных бортах заходки и в закладочном массиве.

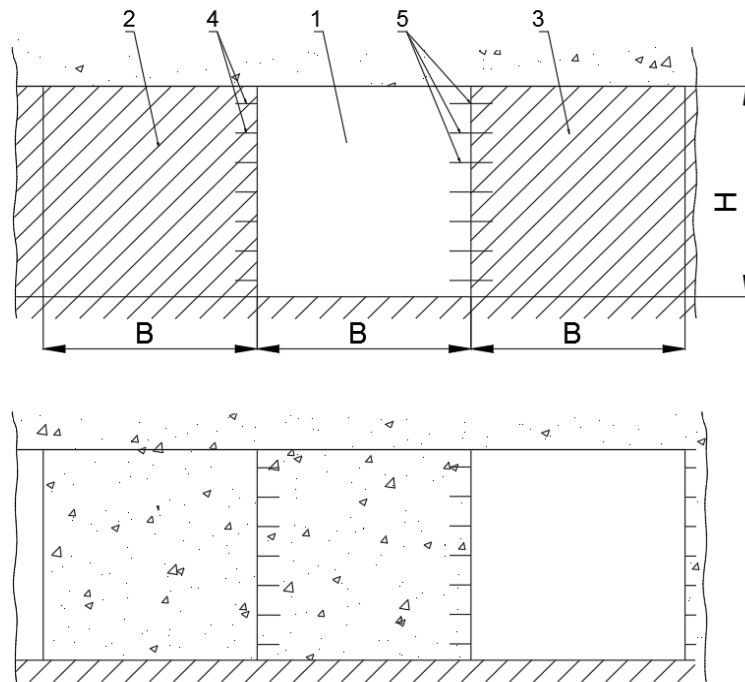


Рисунок 1. Схема размещения шпуров и устройств:
1, 2 и 3 - заходки; 4 короткие шпуров; 5 - устройство
для определений потерь и разубоживания руды.

Для установления показателей разубоживания руды закладкой в зависимости от высоты камеры и мощности отбиваемого слоя были обработаны геологические паспорта и данные по отработке очистных камер [3-6]. Исследованиями получены их фактические контуры на момент окончания выпуска руды и к окончанию закладочных работ. Для каждой камеры определялись средняя и максимальная мощности зон обрушений и средний и минимальный угол обрушения. На основании полученных данных определены параметры разубоживания руды закладкой в зависимости от высоты камеры и мощности отбиваемого слоя (таблица 1, рисунок 2).



Разубоживание руды закладкой

Высота камеры, Н _к , м	Величина разубоживания руды R _s , % при мощности отбиваемого слоя M _о , м		
	4	8	12
4	0,93	2	2,5
8	1,23	2,2	3,1
12	1,6	2,8	3,9
16	2,1	3,6	4,7
20	2,7	4,5	5,5
24	3,4	5,5	6,3

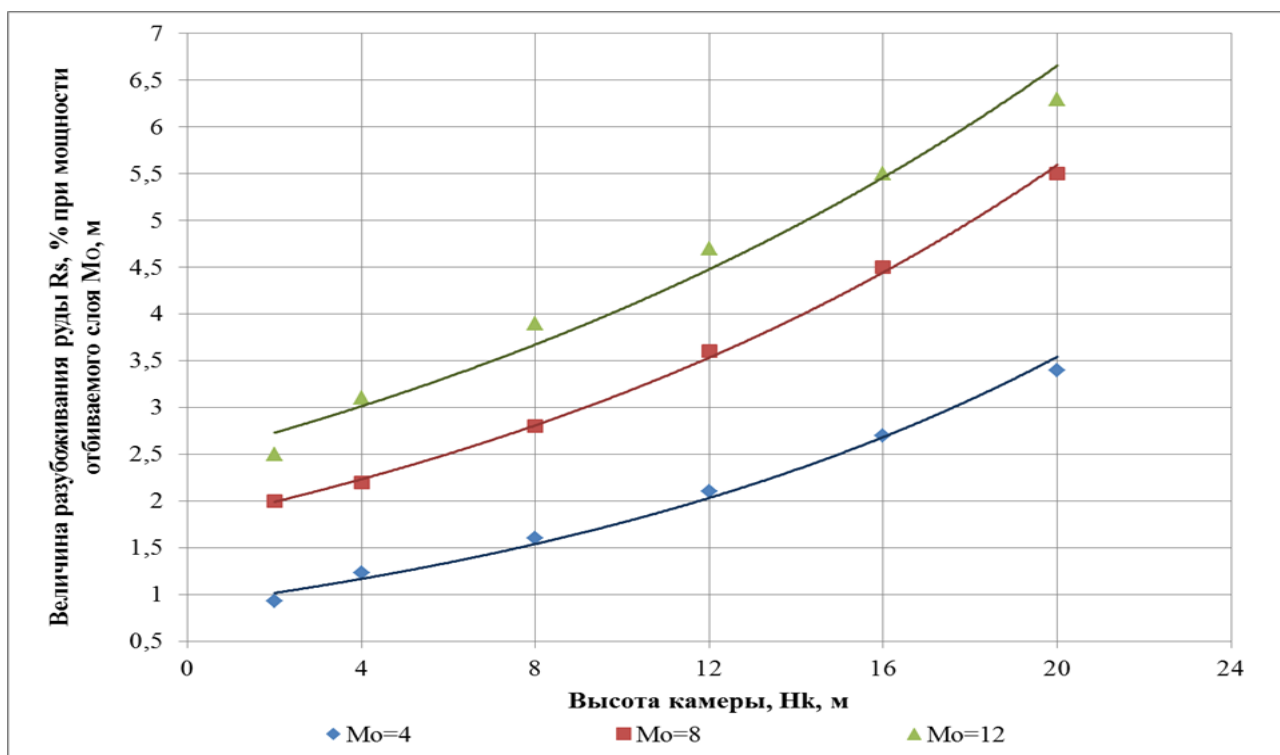


Рисунок 2. Изменение величины разубоживания руды закладкой в зависимости от мощности отбиваемого слоя и высоты камеры

Исследованиями установлены зависимости разубоживания руды закладкой в зависимости от мощности отбиваемого слоя и высоты камеры:

$$M_o = 4\text{м} - \text{уравнение регрессии } R_s = 0,7281e^{0,2604 \cdot H_k}, \quad (1)$$

$$M_o = 8\text{м} - \text{уравнение регрессии } R_s = 1,5238e^{0,213 \cdot H_k}, \quad (2)$$

$$M_o = 12\text{м} - \text{уравнение регрессии } R_s = 2,1471e^{0,1865 \cdot H_k}. \quad (3)$$



Параметры разубоживания руды закладкой в зависимости от угла наклона стенок и высоты камеры по результатам исследований представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2

Разубоживание руды закладкой в зависимости от угла наклона стенок и высоты камеры

Угол наклона стенок закладочного массива, град	Величина разубоживания руды закладкой (%) при высоте камеры, м		
	h=4	h=12	h=20
60	0,5	0,7	1,1
70	0,9	1,2	1,9
80	1,5	1,9	3
90	2,3	2,9	4,5

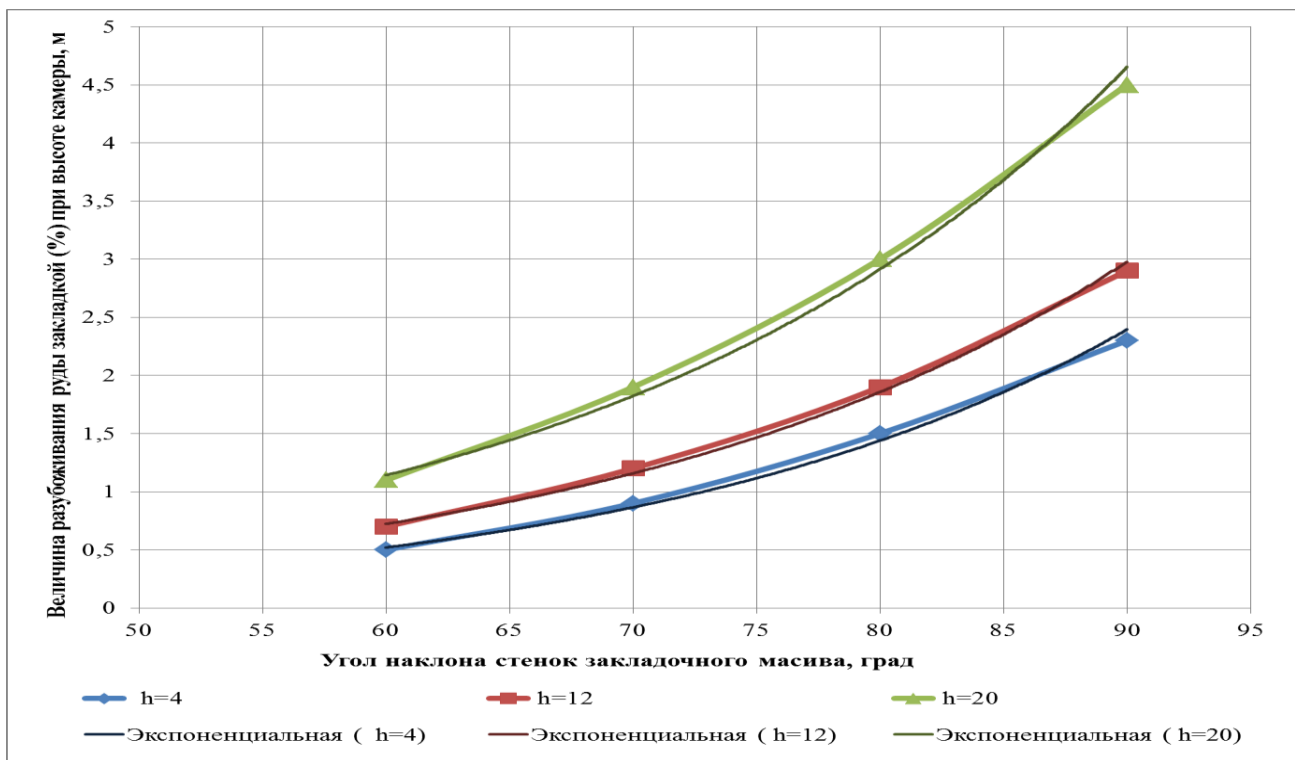


Рисунок 3. Изменение величины разубоживания руды закладкой в зависимости от угла наклона стенок и высоты камеры

Исследованиями установлены зависимости разубоживания руды закладкой в зависимости от угла наклона стенок и высоты камеры:



$$H_k=4 \text{ м - уравнение регрессии } R_s = 0,0246e^{0,0509x}; \quad (4)$$

$$H_k=12 \text{ м - уравнение регрессии } R_s = 0,053e^{0,045x}; \quad (5)$$

$$H_k=20 \text{ м - уравнение регрессии } R_s = 0,0687e^{0,0468x}. \quad (6)$$

Получение математической модели зависимости разубоживания руды закладкой при камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства (y) от высоты очистной камеры (H_k) и мощности отбиваемого слоя (M_o) возможно на основе полного факторного эксперимента вида $N=2^2$, то есть использования 2^x факторов (x_1, x_2) на 2^x уровнях их варьирования – нижнем и верхнем [1,2].

В качестве независимых переменных были избраны: x_1 – высота камеры, H_k , м; x_2 – мощность отбиваемого слоя, M_o , м.

Аппроксимацией математической модели является линейное уравнение регрессии вида:

$$y=b_0+ b_1x_1+ b_2x_2+ b_{12}x_1x_2, \quad (7)$$

где b_0 – свободный член; b_i – линейные коэффициенты; b_{ij} – коэффициенты взаимодействия.

По данным текущего технологического контроля исследуемых факторов определены условия проведения опытов в натуральном и кодовом масштабах, приведённые в таблице 3.

Таблица 3

Условия проведения опытов в натуральном и кодовом масштабах

№ п/п	Факторы		Уровни интервалы варьирования факторов			
			нижний	верхний	основной	интервал
1	x_1	H_k , м	4	24	14	10
2	x_2	M_o , м	4	12	8	4
	код		-1	1	0	Δi

Для расчёта дисперсий выходного параметра y – изменение разубоживания руды закладкой при камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства (y) от высоты очистной камеры и мощности



отбиваемого слоя ставились параллельные опыты, числом $m=3$. Матрица планирования полного факторного эксперимента $N=2^2$ и результаты экспериментов приведены в таблице 4

Таблица 4

Матрица планирования и результаты эксперимента

№ п/п	Кодовый масштаб			Натуральный масштаб		Rs, %			Rs ср., % (y)
	x ₀	x ₁	x ₂	Нк, м	Мо, м	1	2	3	
1	1	-1	-1	4	4	0,93	1,15	1,1	1,06
2	1	1	-1	24	4	3,4	3,51	3,37	3,43
3	1	-1	1	4	12	2,5	2,69	2,53	2,57
4	1	1	1	24	12	6,3	6,7	6,1	6,36

Уравнение регрессии в натуральном масштабе

$$R_s = -0,027 + 0,0826 H_k + 0,153 M_o + 0,00894 H_k M_o \quad (8)$$

Результаты обработки полнофакторного эксперимента для установления зависимости разубоживания руды закладкой при камерных системах разработки от высоты очистной камеры и мощности отбиваемого слоя представлены на рисунке 4.

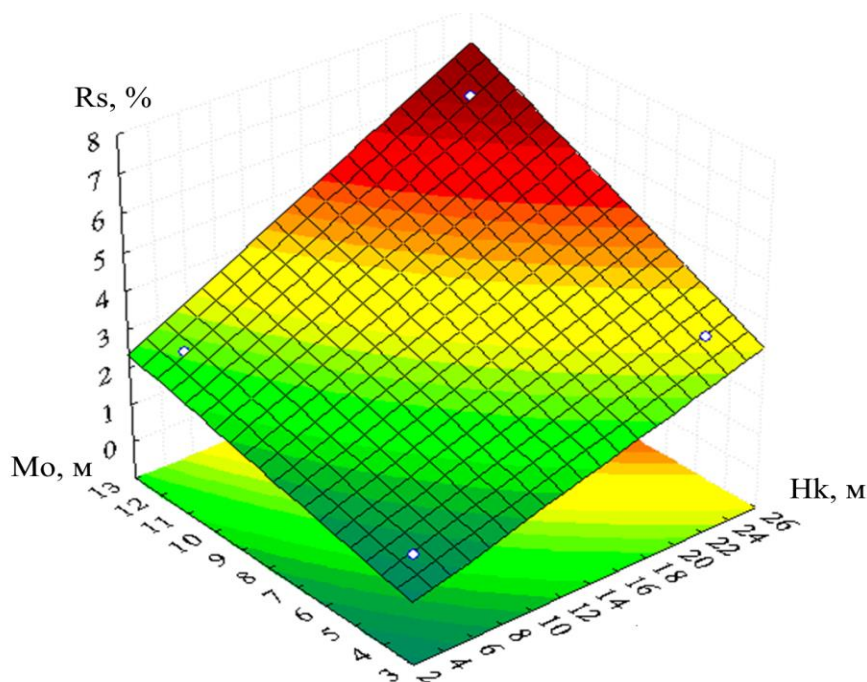


Рисунок 4. График зависимости $R_s = f(X_1, X_2)$



Величина разубоживания руды закладкой при камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства зависит от геометрических параметров отбиваемого слоя и изменяется по полиномиальной зависимости

$$R_s = -0,027 + 0,0826 H_k + 0,153 M_o + 0,00894 H_k M_o \quad (9)$$

где H_k – высота камеры, м; M_o – мощность отбиваемого слоя, м.

Получение математической модели зависимости разубоживания руды закладкой при камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства (y) в зависимости от угла наклона стенок камеры (β) и высоты очистной камеры (H_k) возможно на основе полного факторного эксперимента.

В качестве независимых переменных были избраны: x_1 – высота камеры, H_k , м; x_2 – угол наклона стенок камеры, β , град. По данным текущего технологического контроля исследуемых факторов определены условия проведения опытов в натуральном и кодовом масштабах, приведённые в таблице 5.

Таблица 5

Условия проведения опытов в натуральном и кодовом масштабах

№ п/п	Факторы		Уровни интервалы варьирования факторов			
			нижний	верхний	основной	интервал
1	x_1	H_k , м	4	20	12	8
2	x_2	β , град	60	90	75	15
	код		-1	1	0	Δ_i

где R_s – разубоживание руды закладкой, %;

H_k – высота камеры, м;

β - угол наклона стенок камеры, град.

Для расчёта дисперсий выходного параметра y – изменение разубоживания руды закладкой при камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства (y) от угла наклона стенок (β) и высоты очистной камеры (H_k) ставились параллельные опыты, числом $m=3$. Матрица планирования полного факторного эксперимента $N=2^2$ и результаты экспериментов приведены в таблице 6 и на рисунке 5.



Матрица планирования и результаты эксперимента

№ п/п	Кодовый масштаб			Натуральный масштаб		y (Rs), %			y ср., % (Rs)
	x ₀	x ₁	x ₂	Нк, м	β, град	1	2	3	
1	1	-1	-1	4	60	0,5	0,54	0,61	0,55
2	1	1	-1	20	60	1,1	1,06	1,19	1,11
3	1	-1	1	4	90	2,3	2,19	2,4	2,29
4	1	1	1	20	90	4,5	4,55	4,64	4,56

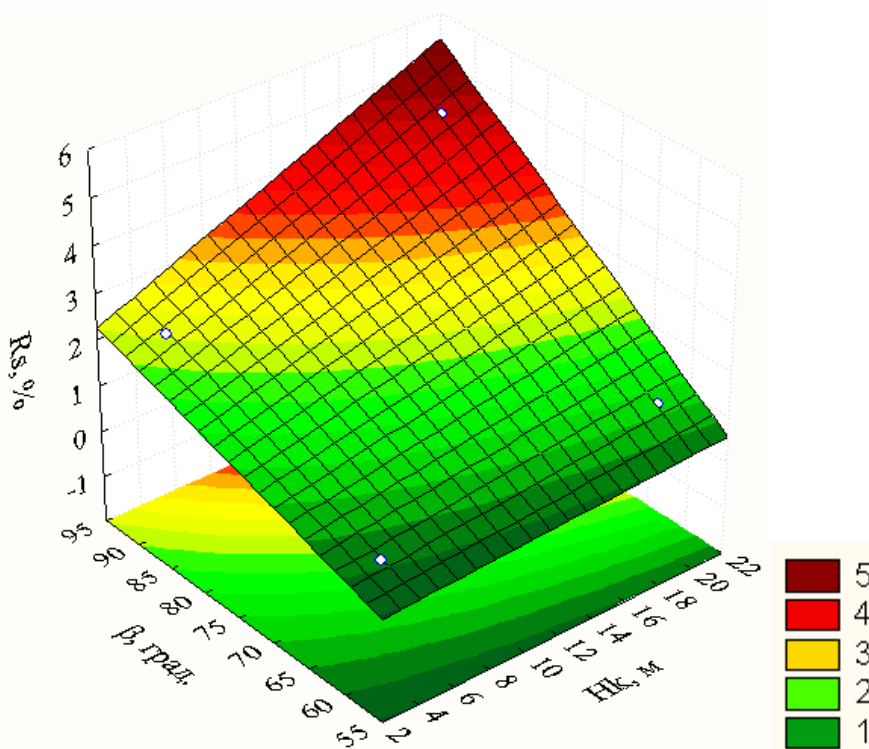


Рис. 5 - График зависимости $R_s=f(X_1, X_2)$

Установлено, что при обработке очистных камер с вертикальными стенками имеют место разрушения закладочного массива за счет слабой устойчивости и сейсмического воздействия взрывных работ на обнаженный закладочный массив. Величина разубоживания руды закладкой зависит от геометрических параметров отбиваемого слоя и изменяется по полиномиальной зависимости $R_s = -2,215 + -0,17875 \text{ Нк} + 0,04375 \beta + 0,00356 \text{ Нк} \beta$ (где Нк – высота камеры, м; β – угол наклона стенок камеры, град).



Список литературы:

1. Голик В. И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. 2013. № 5. С. 93–97.
2. Габараев О.З., Кожиев Х.Х., Битаров В.Н., Гашимова З.А. Технологии разработки сильнонарушенных руд // Устойчивое развитие горных территорий, 2013г., №3. – С. 35–39.
3. Габараев О.З., Кожиев Х.Х., Хулелидзе К.К., Битаров В.Н. Ресурсосберегающие технологии закладки выработанного пространства при добыче богатых медно-никелевых руд // Устойчивое развитие горных территорий, 2012г., №4. – С. 31–34.
4. Габараев О.З., Лолаев А.Б., Хулелидзе К.К., Битаров В.Н. Исследование свойств массива из твердеющей закладки при комбинированной технологии приготовления закладочных смесей// Устойчивое развитие горных территорий, Владикавказ, 2011г., №4. – С. 20-25.
5. Шадрин А. Г., Шадрин Д. М. Устойчивость обнажений и время выхода обрушений на земную поверхность // Маркшейдерский вестник. 2015. № 4. С. 44–46.
6. Голик В. И. Технологическая диверсификация горнодобывающего региона // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. № 1. С. 67–73.

References:

1. Golik V.I. Conceptual approaches to the creation of low - and non-waste mining production based on a combination of physico-technical and physicochemical geotechnologies. Mining journal, 2013, No. 5, pp. 93-97 (in Russian).
2. Gabaraev O.Z., Kozhiev H.H., Bitarov V.N., Gashimova Z.A. Development technologies of severely disturbed ores. Sustainable Development of Mountain Territories, 2013, No. 3, Vol. 5, pp. 35-39 (in Russian).



3. Gabaraev O.Z., Kozhiev H.H., K.K. Khulelidze, Bitarov V.N. Resource-saving technologies of laying-out space when mining of the rich copper-nickel ores. Sustainable Development of Mountain Territories, 2012, No. 4, Vol. 4, pp. 31-34 (in Russian).

4. Gabaraev O.Z., Lolaev A.B., Khulelidze K.K., Betarov V.N. Study of the properties of array hardening bookmarks with the combined technology of preparation of backfilling mixtures. Sustainable Development of Mountain Territories, 2011, No. 4, Vol. 3, pp. 20-25 (in Russian).

5. Shadrin A.G., Shadrin D.M. Stability of the outcrops and the output time of collapse to the earth's surface. Mine Surveying Bulletin, 2015, No. 4. pp. 44-46 (in Russian).

6. Golik V.I. Technological diversification of mining region. Sustainable Development of Mountain Territories, 2016, No. 1, Vol. 8, pp. 67-73 (in Russian).