

В.И. Голик, В.И. Комашенко

ОПТИМАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ УТИЛИЗАЦИИ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД С ЦЕЛЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ИХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ

Обоснованы возможности и условия утилизации хвостов обогащения металлосо-державшего минерального сырья, хранение которого представляет глобальную опасность. Обоснован в качестве гаранта гуманности горной технологии критерий ее оптимальности в виде условия сохранения земной поверхности от разрушения при разработке месторождений. Изложены основы управления геомеханической сбалансированностью массива с сохранением земной поверхности путем разделения его на безопасные по величине напряжений участки. Охарактеризована сущность принципиально новой активации вещества большой механической энергией. Описан опыт первого в мировой практике практического использования технологии. Приведены результаты экспериментов по использованию механохимической технологии из хвостов обогащения цветных и черных металлов и углей месторождений России. Предложена модель определения экономической и экологической эффективности технологии. Технология рекомендована для предприятий КМА России при переходе на подземный способ добычи железных руд.

Ключевые слова: разработка месторождений, минеральное сырье, утилизация, металлы, хвосты обогащения, активация, механическая энергия, механохимия, экология, технология.

Введение

Открытый способ разработки месторождений вступил в противоречия с жизненными интересами горнодобывающих регионов, обладая экономическими и экологическими не-

достатками. Предстоящий переход многих предприятий, например, КМА на подземный способ формирует проблему обеспечения твердеющими смесями для заполнения технологических пустот. Добыча в необходимых объемах

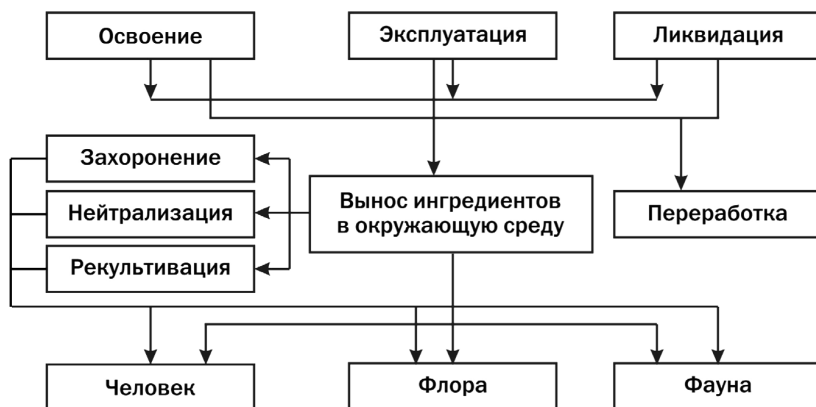


Рис. 1. Влияние минерального сырья на окружающую среду

сырья для приготовления смесей еще более осложнит экологическую ситуацию в регионе.

Сырьем для приготовления твердеющих смесей могут быть хвосты обогащения руд. В хранилищах России находится до 100 млрд т твердых отходов. Ежегодно образуется около 15 млн т отходов, из которых утилизируется не более 10%. Препятствием для широкого применения хвостов обогащения в качестве сырья является наличие не извлеченных при переработке металлов. Утилизация хвостов без извлечения металлов невозможна и с экономической и экологической точки зрения [1].

В мировой практике увеличение объемов утилизации отходов обеспечивается использованием в составе твердеющей смеси в качестве инертных заполнителей и без извлечения опасных компонентов. Такой подход противоречит требованию обеспечения экономических и экологических требований к технологии. Тяжелые металлы, содержащиеся в хвостах, под воздействием водных сред переходят в подвижное состояние и становятся причиной деградации экосистем (рис. 1).

Практика перемещения хвостов обогащения в выработанное пространство может быть признана корректной только при снижении содержания в отходах металлов до норм ПДК или фонового значения.

В состав металлосодержащих минералов входят ценные и дефицитные металлы, стоимость которых может быть сопоставима со стоимостью извлекаемых металлов. Например, в состав руд Лебединского месторождения, кроме титанового металла – железа, входят кобальт, никель, медь, мышьяк, палладий, серебро, сурьма, теллур, платина, свинец, бериллий и другие металлы. Содержащиеся в отходах металлы под действием процессов выщелачивания мигрируют в экосистемы окружающей

среды, приводя к тяжелым последствиям.

Диапазон утилизации минеральных отходов ограничивается возможностями технологий обогащения. Возможности извлечения металлов из хвостов переработки увеличились при освоении технологий с химическим выщелачиванием с активацией процесса перемешиванием в агитаторах. Однако продолжительность и невозможность извлечения до санитарно безопасного уровня ограничивают область применения этих технологий.

В последнее время развивается направление извлечения металлов из хвостов горного производства путем комбинирования процессов механической активации и химического выщелачивания, что позволяет извлекать металлы до уровня предельно допустимой концентрации на 2 порядка быстрее, чем при агитационном выщелачивании [2].

В технологии приготовления твердеющих смесей используют феномен изменения свойств материалов в дезинтеграторах, приводящий к сохранению необходимой нормативной прочности при низком качестве исходных компонентов (рис. 2) [3].

В горной отрасли при утилизации отходов обогащения руд целью является оптимизация составов твердеющих смесей для обеспечения нормативной прочности закладочных массивов в выработанном пространстве. Актуально использование хвостов обогащения

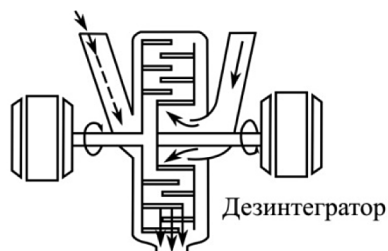


Рис. 2. Схема дезинтегратора

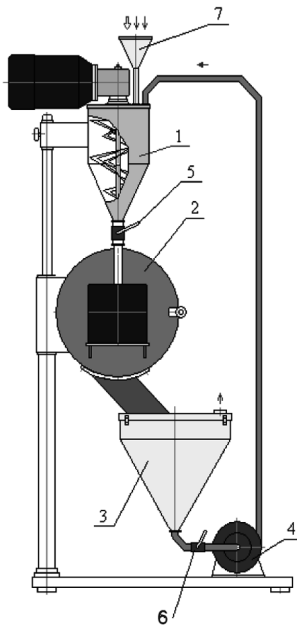


Рис. 3. Схема лабораторного дезинтегратора DESI-11 для активации минералов: 1 – смеситель; 2 – дезинтегратор; 3 – приемный бункер; 4 – насос; 5, 6 – кран; 7 – воронка

полезных ископаемых в составе твердеющей смеси не только в качестве инертных заполнителей, но и вяжущих компонентов [4].

Мелкие фракции обогащения размером до 0,076 мм, включающие карбонатные компоненты, используют в качестве вяжущих. Измельчение хвостов обогащения до тонкодисперсной фракции позволяет изготавливать закладочные смеси достаточной прочности для заполнения подавляющего объема техногенных пустот. Активация хвостов обогащения в дезинтеграторе позволяет мелким фракциям конкурировать с цементом.

Нами исследован феномен совмещения в рамках комбинирования процессов механической активации с химическим выщелачиванием, продуктом чего является новый материал, отличающийся повышенным качеством и безопасностью по содержанию металлов.

Методика эксперимента

Эффективность технологии механохимической активации хвостов обогащения оценивается путем сравнения ее показателей с показателями агитационного выщелачивания в перколяторах по критерию извлечения металлов методом Венкена-Бокса.

Снижение расхода цемента на приготовление твердеющих смесей при обеспечении нормативной прочности закладочных массивов, расширение области утилизации хвостов обогащения и улучшение состояния окружающей среды обеспечивается реализацией нескольких направлений.

Многие обычно предлагает включать в состав закладочной смеси в качестве вяжущего дополнительно молотый доменный кислый шлак, а в качестве заполнителя – смесь хвостов обогащения железистых кварцитов со шлаковым щебнем. Часто в качестве заполнителя использовать хвосты обогащения и портландцемент, измельченные в дезинтеграторе, или включать в состав закладочной смеси сталелитейный шлак и активизатор – горелые породы шахтного отвала и шлак от нейтрализации электролитов известью [5].

Известные направления предполагает использовать хвосты обогащения без извлечения из них полезных и ценных металлов, что снижает полноту использования ресурсов недр.

Исследование параметров переработки хвостов – механической активации в дезинтеграторе с химическим выщелачиванием осуществлено в установке DESI-11 (рис. 3).

Для оценки влияния активации на прочность твердеющих смесей исследованы смеси, характеризующиеся составом: крупность хвостов обогащения – 1 мм; соотношение компонентов: инертные, вяжущее, вода – 1445:100:380; продолжительность твердения 7, 14 и 28 суток; частота вращения роторов дезинтегратора 200 Гц; состав реаген-

та: 10 г/л серной кислоты и 160 г/л хлорида натрия [6].

Режимы переработки хвостов включали в себя: без активации; с механической активацией в сухом состоянии; выщелачивание в агитаторе без активации; механическая активация с агитационным выщелачиванием; выщелачивание в дезинтеграторе; многократное выщелачивание в дезинтеграторе.

Химический состав хвостов, %: SiO_2 – 64, Fe – 8, Al_2O_3 – 5,2, Mn – 3,2, K_2O – 0,7, P – 0,1, Ca – 0,8, Mg O – 0,2, Cu – $5 \cdot 10^{-3}$, Ni – $4 \cdot 10^{-3}$, Zn – $5 \cdot 10^{-4}$, As, Ba, Be, Bi, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Pb, Sb, Sn, Sr, Ti, V, Y – на уровне $(30-50) \cdot 10^{-5}$.

Результаты

Результаты испытания твердеющих смесей на прочность сведены в табл. 1.

Для увеличения прочности смеси хвосты классифицированы по крупности (табл. 2).

Таблица 1

Результаты исследования смесей с цементом и хвостами без активации

Расход портландцемента, кг/м ³	30	60	80	100	120	180
Прочность, МПа	0,79	0,92	0,101	1,20	1,41	1,80
Коэффициент вариации опытов	27	26	28	12	15	18
Примечание: расход воды 380 л/м ³ .						

Таблица 2

Характеристика добавок к хвостам

Фракция	Остаток на ситах в %, мм								Потери при отмучивании, кг/м ³	Удельная поверхность, м ² /кг	Плотность, кг/м ³
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	-0,14			
Крупная	29,0	20,5	15,0	7,7	12,5	4,7	6,4	4,2	3,6	5,0	2700
Мелкая	13,6	16,7	31,7	4,3	17,4	10,0	4,3	3,5	5,0	5,1	2680

Таблица 3

Прочность смесей с комбинированным по крупности заполнителем, МПа

Расход портландцемента, кг/м ³	30	60	80	100	120	180
Прочность, МПа	0,85	1,02	1,23	1,40	1,57	1,85
Вариация	21	25	17	19	14	11
Примечание: расход воды 380 л/м ³ .						

Прочность смесей, в которых хвосты обогащения комбинируются по признаку оптимальной крупности (50% крупной и 50% мелкой) увеличивается, что оценивается коэффициентом 1,15–1,25 (табл. 3).

Прочность смеси изменяется в зависимости от способа ее подготовки в процессе выщелачивания металлов. Изменение прочности смесей с использованием цемента характеризуется данными (табл. 4).

Параметры прочности смесей при той же подготовке, но без использования цемента, сведены в табл. 5.

Полученные результаты сравниваются с прочностью смеси с использованием в качестве вяжущего активированных в дезинтеграторе хвостов обогащения (табл. 6).

Результаты исследования позволяют утверждать [7]:

- выщелачивание хвостов с активацией в дезинтеграторе существенно

Таблица 4

Влияние подготовки на прочность смесей с вяжущим цементом

№	Вид активации	Состав смеси			7 суток, 14 суток, 28 суток		
		хвосты	цемент	вода			
1	Без активации	1445	100	380	1,04	1,11	1,20
2	Механическая активация	1445	100	380	1,16	1,25	1,32
3	Выщелачивание без активации	1445	100	380	0,52	0,61	0,72
4	Механическая активация с агитационным выщелачиванием	1445	100	380	0,68	0,73	0,88
5	Выщелачивание в дезинтеграторе	1445	100	380	0,73	0,77	0,94
6	Множественное выщелачивание в дезинтеграторе	1445	100	380	0,92	1,10	1,22

Таблица 5

Влияние активации на прочность смесей без цемента

№	Вид активации	Состав смеси			7 суток, 14 суток, 28 суток		
		хвосты	цемент	вода			
1	Без активации	1445	0	380	0,64	0,81	0,91
2	Механическая активация	1445	0	380	0,86	0,95	1,12
3	Выщелачивание без активации	1445	0	380	0,42	0,57	0,62
4	Механическая активация с агитационным выщелачиванием	1445	0	380	0,60	0,69	0,78
5	Выщелачивание в дезинтеграторе	1445	0	380	0,63	0,71	0,84
6	Множественное выщелачивание в дезинтеграторе	1445	0	380	0,82	1,00	1,12

Таблица 6

Влияние активации на прочность смесей с цементом

№	Вид активации	28 суток, МПА		
		цемент 100 кг/м ³		активация б/цемента
		без активации	с активацией	
1	Без активации	1,30	–	1,01
2	Механическая активация	–	1,52	1,22
3	Выщелачивание без активации	–	0,92	0,68
4	Механическая активация с агитационным выщелачиванием	–	1,08	0,88
5	Выщелачивание в дезинтеграторе	–	1,20	0,94
6	Множественное выщелачивание в дезинтеграторе	–	1,54	1,14

эффективнее, чем агитационное выщелачивание;

- в порядке убывания степени влияния на процесс, следуют: содержание в выщелачивающем растворе реагента, частота вращения роторов дезинтегратора; число циклов переработки в дезинтеграторе и соотношение Ж:Т;

- активация в дезинтеграторе с выщелачиванием вне его увеличивает извлечение из хвостов обогащения: по свинцу – в 1,4 раза, по цинку – в 1,1 раза;

- выщелачивание в дезинтеграторе по сравнению с вариантом отдельной активации и выщелачивания обеспечивает примерно одинаковое извлечение, но сокращает продолжительность процесса на 2 порядка [8].

Хвосты механохимической активации отходов обогащения отличаются более равномерной структурой, что существенно повышает качество смеси. Эффект этого иллюстрируется увеличением прочности бетона, изготовленного при прочих равных условиях на

основе хвостов, приготовленных разными способами: размолотых в мельнице и активированных в дезинтеграторе.

Извлечение металлов из хвостов переработки может быть заключительным этапом взаимодействия процессов переделов руд (рис. 4).

Обсуждение результатов

Прочность твердеющих смесей на основе хвостов обогащения при активации их в дезинтеграторах повышается с 1,30 до 1,52 МПа или на величину коэффициента 1,17.

После извлечения из них металлов до уровня санитарных требований активированные в дезинтеграторе хвосты обогащения пригодны для изготовления твердеющих смесей даже без добавления цемента.

Смеси на основе активированных хвостов обогащения руд обеспечивают: прочность твердеющих смесей на одноосное сжатие 0,5–1,5 МПа, достаточную для закладки большинства

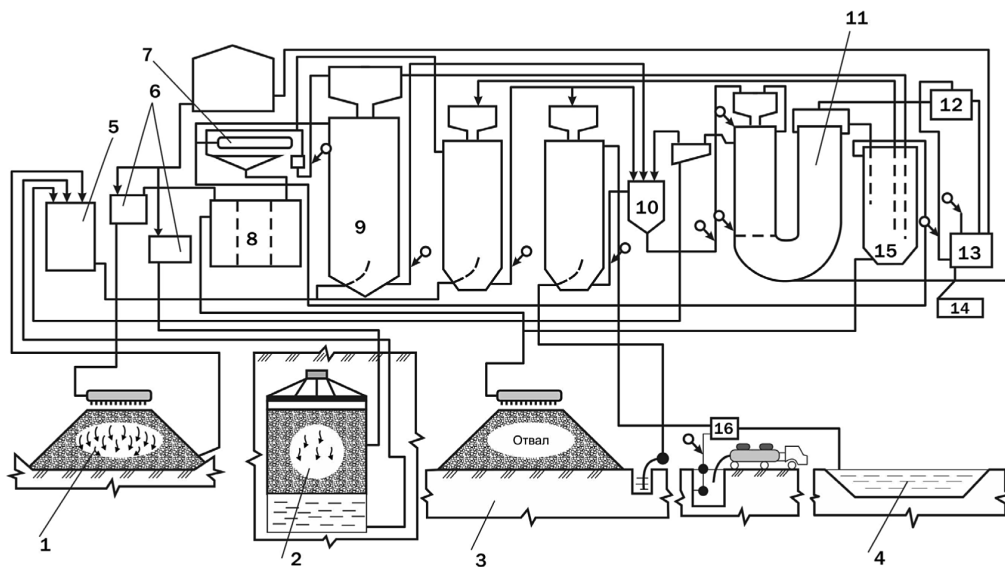


Рис. 4. Технология с выщелачиванием металлов из руд: 1 – штабель КВ; 2 – блок ПВ; 3 – отвал; 4 – пруд; 5–5, 6, 7, 8 – емкости; 9, 10 – технологические аппараты; 11 – сорбционно-десорбционная колонна; 12–15 – вспомогательное оборудование

выработанного пространства при снижении расхода цемента в разы по сравнению с базовым значением.

Технологически и экономически целесообразнее использование текущих хвостов обогащения металлических руд с увязкой процессов обогащения и приготовления смесей в единую систему [9, 10].

Утилизируемые без ограничения по санитарным условиям материалы – продукты механохимической переработки могут быть практически неограниченной сырьевой базой не только для горного производства, но и для смежных отраслей народного хозяйства [9, 10].

Новая технология является шагом в направлении решения глобальных соседствующих проблем современности: обеспечения населения Земли металлами и защиту планеты от катастрофической химизации продуктами горного производства [11, 12].

Выводы

Результатами многофакторного эксперимента вариантов активации хвостов обогащения в процессе выщелачивания в дезинтеграторе подтверждена корректность технологии извлечения металлов из хвостов обогащения руд путем комбинированного химического обогащения и механической активации минералов.

Теоретически и экспериментально доказано, что выщелачивание металлов из хвостов обогащения в дезинтеграторе в течение минут существенно улучшает качество вторичных хвостов переработки и прочность искусственных массивов из твердеющих смесей на их основе. Новая технология обеспечивает безотходную утилизацию хвостов обогащения, обладая преимуществами экономического и экологического характера по сравнению с традиционными технологиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амвросов А.Ф. Мониторинг опасных геологических процессов при недропользовании // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 258–262.

2. Polukhin O.N., Komashchenko V.I., Golik V.I., Drebenstedt C. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailing usage in solidifying mixtures production. Technische University Bergakademie, Freiberg, 2014, pp. 402–413.

3. Golik V.I., Komashchenko V.I., Drebenstedt K. Mechanochemical activation of the ore and coal tailings in the desintegrators. Springer International Publishing, Switzerland, 2013, pp. 567–573.

4. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 4, pp. 321–324.

5. Голик В.И., Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г. Геофизический мониторинг подземной разработки месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 2. – С. 109–135.

6. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. Metallurgical and Mining Industry, 2015, No5, pp. 401–405.

7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. Metallurgical and Mining Industry, 2015, No3, pp. 38–41.

8. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No3, pp. 49–52.

9. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No4, pp. 322–324.

10. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No4, pp. 325–329.

11. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience // Metallurgical and Mining Industry, 2015, № 6, pp. 591–594.

12. Комащенко В.И., Ерохин И.В. Концепция минимизации опасного загрязнения окружающей среды железорудных регионов КМА // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 2. – С. 10–16. **ПИАБ**

Гolik Владимир Иванович¹ – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Геофизический институт

Владикавказского научного центра РАН и Правительства РСО-А,

Комашенко Виталий Иванович – доктор технических наук, профессор, советник ректората, Белгородский государственный национальный исследовательский университет.

UDC 504.55.054: 622(470.6)

OPTIMUM CRITERION OF UTILIZATION OF TAILINGS OF ORE WITH A VIEW TO APPLYING THEM IN MANUFACTURE OF SOLID MIXTURES

Golik V.I.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center of Russian Academy of Sciences and Government of Republic of North Ossetia-Alania, 362002, Vladikavkaz, Russia, e-mail: cgi_ras@mail.ru, Komashchenko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University, 308015, Belgorod, Russia,

The article is devoted to the substantiation of the possibility and disposal conditions of the ore beneficiation tailings of the metal-containing mineral raw materials, the storage of which is globally dangerous. Mining technology optimality criterion is justified as its humanity guarantor being the condition for the preservation of the Earth's surface during deposits development. The grounds for the geomechanical balance control of the mountain mass preserving the Earth's surface by way of dividing it into safe areas according to their stress rate are indicated. Brand new process of the substance activation by large mechanical energy has been characterized. The essence of essentially new activation of substance is characterized by big mechanical energy. The practical use of technology for the first time in the world practice has been described. Experimental evidence is given on the mechanical-chemical technology of using the tailings of the nonferrous and ferrous metals and coals of Russian deposits. The model of defining the economic and ecological efficiency of the technology is suggested. The technology is recommended for the enterprises of KMA of Russia in conversion to the underground ore mining.

Key words: deposit development, mineral raw materials, metals, ore beneficiation tailings, the Earth's surface, geomechanics, tension, activation, mechanical energy, mechanics and chemistry, ecology, underground ore mining.

REFERENCES

1. Amvrosov A.F. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 7, pp. 258–262.
2. Polukhin O.N. Komashchenko V.I. Golik V.I., Drebenstedt C. *Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailing usage in solidifying mixtures production*. Technische University Bergakademie, Freiberg, 2014, pp. 402–413.
3. Golik V.I., Komashchenko V.I., Drebenstedt K. *Mechano chemical activation of the ore and coal tailings in the desintegrators*. Springer International Publishing, Switzerland, 2013, pp. 567–573.
4. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no 4. pp. 321–324.
5. Golik V.I., Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 2, pp. 109–135.
6. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no 5, pp. 401–405.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no 3, pp. 38–41.
8. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Inno vative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no 3, pp. 49–52.
9. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no 4, pp. 322–324.
10. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no 4, pp. 325–329.
11. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal deposits combined development experience. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, no 6, pp. 591–594.
12. Komashchenko V.I., Erokhin I.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 2, pp. 10–16.