НОВЫЙ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ

Е. А. Емельяненко¹, Е. А. Горбатова²

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Магнитогорск
emv31@mail.ru

²Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья
им. Н. М. Федоровского, Москва
lena_gorbatova@mail.ru

Обострение экологической обстановки в районах добычи и переработки руд черных и цветных металлов требует нового концептуального подхода к управлению горнопромышленными отходами и перспективам их будущего освоения. В работе рассматривается проблема разработки критериев, определяющих тип техногенного массива, формируемого с использованием хвостов обогащения медно-колчеданных руд Гайской обогатительной фабрики, показана возможность их дальнейшего использования на основании данных о процессах минералообразования, вещественном составе и морфоструктурных особенностях минеральных фаз, формирующих технический камень.

Ключевые слова: хвосты обогащения, доменный шлак, технический камень, эпигенетический массив, сингенетический массив, закладка, комплекс минералого-аналитических методов, минеральные фазы.

INNOVATIVE APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF MINING WASTE IN SOUTH URAL

E. A. Emelyanenko¹, E. A. Gorbatova²

¹Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

²All-russian scientific-research institute of mineral resources named after N. M. Fedorovsky, Moscow

The aggravation of the ecological and economic situation in the areas of mining and processing of ferrous and non-ferrous metals in the South Urals requires the development of new approaches to recycling and prospects for the future processing of mining waste. We discussed criteria that determined the type of technogenic massif formed — syngenetic or epigenetic on the basis of complete information about the processes of mineral formation, material composition and morphostructural features of the mineral phases that formed the technical stone. The subject of the study was the sample of stowage with the age of hardening of 180 days, the components of the filling mixture — granulated blast furnace slag of PJSC MMK, the tailings of the enrichment of copper-plated ores of the Gaisk concentrator. Using a complex of mineral-analytical methods — optical microscopy (optical-petrographic and minerographic), x-ray and thermal methods — allowed the authors to assess the morphological features of the constituent components of the stowage, the chemical composition, the newly formed mineral phases and characterize the technogenic massif formed from the stowage as epigenetic.

Keywords: enrichment tails, blast furnace slag, technical stone, stowage, complex of mineral-analytical methods, mineral phases, neoplasms, syngenetic, epigenetic.

Введение

Горно-обогатительные и металлургические предприятия, связанные с добычей и переработкой цветных и черных металлов, — это наиболее загрязняющие и нерациональные отрасли промышленности. Общее количество накопленных на Южном Урале горнопромышленных отходов в виде вскрышных и вмещающих пород, некондиционных, бедных и забалансовых руд, шламов рудничных вод составляет примерно 6.3 млрд т, хвостов обогащения медноколчеданных руд — около 1.7 млрд т [5, 13]. В шламоотстойниках и шлакоотвалах металлургического производства сосредоточено более 232.7 млн т отходов. Запасы доменных шлаков в отвалах ПАО «ММК» достигают более 40 млн т и ежегодно пополняются в среднем более чем на 3 млн т [1, 3, 4, 12]. Складирование отходов в отвалы и хвостохранилища происходит, как правило, бессистемно, поэтому весьма актуальным является разработка концептуального подхода к управлению горнопромышленными отходами на основе критериев, выявляющих тип формируемого техногенного массива с целью перспектив дальнейшего использования [3].

Следует отметить, что основными отраслями, вовлекающими во вторичное использование отходы черной металлургии, являются сама металлургия, производство строительных материалов, удобрений [3, 4, 6, 8, 10, 12]. Отходы добычи и переработки руд цветных металлов являются комплексными, представляют инте-

рес для химической промышленности, горно-обогатительных предприятий как дополнительный ресурс для повторного извлечения цветных, благородных, редких металлов в гидрометаллургическом переделе, а при минимальном содержании ценных компонентов — как техногенное сырье для стройиндустрии [6, 13]. Однако из-за отсутствия эффективных технологий переработки данный вид промышленных отходов пока не востребован, а накопленные запасы требуют системного подхода к утилизации.

Текущие или уже накопленные на поверхности отходы добычи и обогащения руд медно-колчеданных месторождений, содержащие в составе ценные компоненты, не извлекаемые из руды на данном этапе развития технологии, целесообразно утилизировать в выработанном пространстве недр, то есть использовать их в составе закладочных смесей при заложении подземных камер, рекультивации карьеров [2]. При этом можно решить несколько важнейших задач, таких как постепенное внедрение в горную промышленность ресурсовоспроизводящих технологий, системность при утилизации минерального сырья, снижение вредного воздействия на экологию в зоне влияния горных предприятий. Новый концептуальный подход предполагает создание эпигенетического и сингенетического техногенных массивов. Эпигенетический массив подразумевает формирование искусственного массива из нетрадиционного минерального сырья, содержащего цвет-

ные, благородные, редкие металлы с сохранением его качественных, количественных характеристик и технологических свойств. Сингенетический массив — техногенное образование, в котором синхронно с формированием массива образуются новые минеральные фазы, агрегаты, то есть новый вид минерального сырья техногенного генезиса.

Особый интерес вызывает поведение горнопромышленных отходов в составе комбинированной закладочной смеси. Длительное хранение отходов на поверхности в отвалах, в хвостохранилищах сопровождается гипергенезисом, ухудшением качества ценных компонентов в сульфидной составляющей [9, 14]. Утилизируемые в закладочных массивах горнопромышленные отходы — хвосты обогащения, вскрышные породы, доменный шлак — принципиально отличаются по свойствам и способам получения [11, 15, 16] и, как следствие, обладают разной активностью и технологическими свойствами при совместном нахождении в закладочных смесях.

Технологические свойства, непостоянство которых обусловлено изменчивостью вещественного состава и строением исходных природных материалов, влияющих на тип формируемого искусственного массива, позволит выявить комплекс минералого-аналитических методов.

Целью статьи является разработка критериев, определяющих тип формируемого техногенного массива, содержащего хвосты обогащения медно-колчеданных руд Гайской обогатительной фабрики на основе оценки их минерального состава, текстурно-структурных особенностей и технологических свойств для выявления перспективности дальнейшего использования.

Объект и методы исследования

Объект исследования — штучная проба из закладочной камеры Гайского подземного рудника.

Для определения качественных показателей минерального сырья с высокой степенью достоверности, реконструкции последовательности и условий образования минеральных фаз в искусственных массивах использовался новый методологический подход — комплексирование минералого-аналитических методов [4]. Комплекс минералого-аналитических мето-

дов включал оптическую микроскопию — оптико-петрографический и минералогический методы (Leica, Германия), количественный рентгенографический анализ (РКФА) (SHIMADZU, Япония), дифференциально-термический анализ (ДТА) (Q-1500D, Венгрия). Последовательность проведения и объемы минералогических работ выполнены в соответствии с методической документацией, утвержденной научным советом по минералогическим методам исследований [7, 11, 15, 16].

Результаты и обсуждение

Материалы и методика экспериментальных работ.

Обработка месторождения на Гайском подземном руднике ведется по этажно-камерной системе с твердеющей закладкой. Для производства закладочной смеси используется следующее минеральное сырье: вяжущие материалы — шлакопортландцемент (Ц) марки ЦЕМ П/В III 32.5 Н, соответствующий ГОСТ 31108-2016 (ООО «Южно-Уральская ГПК» г. Новотроицк), шлак доменный гранулированный (Ш), соответствующий ГОСТ 3476-74 (ПАО «ММК», г. Магнитогорск), хвосты обогащения медно-колчеданных руд (Х) Гайской обогатительной фабрики, гидроциклонированные компоненты. Примерное соотношение материалов в закладочной смеси Ц : Ш : Х = 1 : 9 : 35. Технические свойства компонентов закладочной смеси приведены в табл. 1.

Отобранная штучная проба закладки имела неправильную форму и примерные размеры 500 × 300 мм. Время твердения закладочной смеси в подземной камере — более 180 суток. В петрографической лаборатории кафедры ГМДиОПИ МГТУ им. Г. И. Носова штучная проба была распиlena на четыре образца-кубика с размерами ребра 70 мм. Испытания образцов-кубиков закладки на прессе показали: средняя прочность закладки — 5.0 МПа (165 кг/м³), что соответствует нормативной прочности.

Результаты рассева гидроциклонированных хвостов обогащения медно-колчеданных руд Гайского ГОКа, используемых в качестве наполнителя, представлены в табл. 2.

Тонина помола граншлака и хвостов Гайской обогатительной фабрики, направляемого для получения закладочной смеси, составляет 43–45 % фракции –0.074 мм. Тонина помола шлакопортландцемента (по остатку на

Таблица 1. Технические свойства материалов

Table 1. Technical properties of materials

Наименование материала Material	Плотность, т/м ³ Density, t/m ³	Насыпная масса, т/м ³ Bulk mass, t/m ³	Водоудерживающая способность материала, д. ед. Water retention capacity, units
Вяжущие / Binders			
Шлакопортландцемент ООО «Южно-Уральская ГПК» Slag Portland cement from Yuzhno-uralskaya Mining company	2.8–3.2	1.1–1.4	0.4–0.46
Шлак доменный гранулированный ПАО «ММК»* Granulated blast-furnace slag from MMK*	2.9	1.5	0.3
Заполнитель / Filler			
Хвосты обогащения медно-колчеданных руд Concentration tailings of copper-sulphide ores	3.0–4.0	1.5–1.7	0.28–0.35

Примечание: * водоудерживающая способность граншлака дана при содержании фракции минус 0.074 мм — 40 %.

Note: *water retention capacity of slag is given when the content of the fraction minus 0.074 mm — 40 %.

Таблица 2. Зерновой состав хвостов обогащения медно-колчеданных руд ПАО «Гайский ГОК»

Table 2. The grain composition of the tailings of copper-pyrite ores PJSC «Gaiskiy GOK»

Размер сит, мм Size of pores, mm	0.315	0.2	0.16	0.1	0.074	0.044	Дно Bottom
Частный остаток, % Partial residue, %	1.02	4.26	2.28	11.92	16.84	14.21	49.47

сите 008) составляет 0.4 %, что отвечает данным, указанным в сертификате качества от предприятия.

Результаты химического анализа вяжущих компонентов и наполнителя представлены в табл. 3. Минеральный состав шлакопортландцемента указан в табл. 4.

Искусственный массив рассматривается как технический камень, обладающий определенным строением, что обусловлено составом закладочной смеси, технологией ее приготовления, а также способами по-

дачи гидравлической смеси и процессами ее затвердевания.

Текстура технического камня характеризуется почти однородным распределением обломочного материала в цементе базального типа, видимых сгущений в виде пятен или полос не наблюдается, что позволяет судить о равномерном затвердевании искусственного массива. Цемент сложен силикатами кальция, присутствующими в цементной составляющей C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF (рис. 1).

Таблица 3. Химический состав компонентов в составе закладки ПАО «Гайский ГОК»

Table 3. Chemical composition of the components in the bookmark PJSC «Gaiskiy GOK»

Массовая доля компонентов, % Weight fraction of components, %	Материал		
	Портландцемент ЦЕМ П/В III 32.5 Н Portland cement	Шлак гранулированный ПАО «ММК» Granulated slag	Хвосты обогащения Concentration tailings
Медь / Copper	—	—	0.2
Цинк / Zinc	—	—	0.25
Сера / Sulfur	3.24	0.68	21.1
Железо общ. / Iron		—	19.0
Закись железа FeO Iron monoxide		0.24	—
Оксид железа Fe ₂ O ₃ Iron oxide	4.31	н/д	
Оксид кальция Calcium oxide	64.16	39.0	2.39
Оксид магния Magnesium oxide	3.46	8.2	0.86
Оксид алюминия Aluminum oxide	4.54	9.9	5.87
Оксид кремния Silica oxide	20.77	29.0	37.9
Оксид титана Titanium oxide		0.84	н/д
Окись марганца Manganese oxide		0.24	

Таблица 4. Основные минералы шлакопортландцемента

Table 4. The main minerals of slag Portland cement

Наименование Name	Формула Formula	Сокращенное обозначение Abbreviation	Примерное содержание в клинкере, % Approximate content in clinker
Алит (трехкальциевый силикат) Alite (tricalcium silicate)	$3CaO \times SiO_2$	C_3S	62.35
Белит (двухкальциевый силикат) Belite (bicalcium silicate)	$2CaO \times SiO_2$	C_2S	12.5
Трехкальциевый алюминат Tricalcium aluminate	$3CaO \times Al_2O_3$	C_3A	4.72
Целит (четырекальциевый алюмоферрит) Celite (Tetracalcium aluminoferrite)	$4CaO \times Al_2O_3 \times Fe_2O_3$	C_4AF	13.09

Рис. 1. Обломочная структура технического камня. Проходящий свет, николи параллельны (а) и скрещены (б)

Fig. 1. Clastic structure of technical stone. Transmitted light, parallel nicols (a) and crossed (b)

Структура кластическая, по составу обломков подобная кристалло- и литокластической, по размеру обломков относится к средне- и мелкозернистым. В техническом камне фиксируется слабое взаимодействие обломочного материала и цементирующего вещества в виде формирования вновь образованных фаз — гидроксидов железа на границе «обломок—цемент». Сортировка обломочного материала отсутствует.

По технологическому регламенту в состав обломочного материала входят зерна текущих хвостов обогащения колчеданных руд и гранулированного доменного шлака.

Исследования показали, что хвосты обогащения медно-колчеданных руд в основном сложены пиритом — 69 % и кварцем — 22 %, в подчиненном количестве присутствуют серицит, кальцит, барит, халькопирит, сфалерит и др. (10 %).

Морфология обломков хвостов разнообразная, остроугольные обломки с ровными контурами представлены хрупкими минералами с высокой твердостью — пиритом, кварцем; обломки неправильной формы со сложными, максимально изрезанными границами — мягкими минералами — халькопиритом, хлоритом, серицитом или минеральными агрегатами переменного состава.

Хвосты обогащения колчеданных руд в основном сложены пиритом (50 %) и кварцем (30 %), в подчиненном количестве встречаются серицит, кальцит, хлорит, барит, халькопирит, сфалерит и др.

Минералы цветных металлов — халькопирит и сфалерит — в хвостах обогащения наблюдаются в виде свободных зерен и агрегатов мономинерального (халь-

копиритового, сфалеритового), биминерального (халькопирит-пиритового, халькопирит-сфалеритового и др.) и полиминерального (халькопирит-сфалерит-пиритового и др.) состава. К наиболее распространенным относятся халькопирит-пиритовые сростки.

Халькопирит как главный медьсодержащий минерал в хвостах обогащения присутствует в виде свободных зерен и минеральных сростков. Форма выделений халькопирита аллотриоморфная (рис. 3). Свободные зерна халькопирита имеют блочное строение, характеризуются развитием трещин. Размер зерен не превышает 0.03 мм. В минеральных агрегатах халькопирит выполняет интерстиции между зернами пирита и полости трещины в брекчированных агрегатах пирита. Границы между халькопиритом и другими минералами резкие.

Сфалерит в хвостах обогащения тесно ассоциирует с пиритом, реже с халькопиритом и нерудными минералами. Морфология сфалерита аллотриоморфная. В свободных зернах сфалерит практически не встречается. В минеральных агрегатах сульфид цинка образует прожилки и выполняет интерстиции между зернами пирита (рис. 2). Размер свободных зерен минерала не превышает 0.095 мм.

Сравнение данных минералого-петрографического анализа с результатами рентгенографического фазового анализа хвостов обогащения показывает примерное соответствие массовых долей серицита, хлорита, завышенное содержание по кварцу, заниженное по пириту.

По данным оптико-петрографического анализа, обломки гранулированного доменного шлака име-

Рис. 2. Хвосты обогащения колчеданных руд Гайского месторождения. Отраженный свет, николи параллельны

Fig. 2. Tailings pyrite ores of Gai Deposit. Reflected light, parallel nicols

ют сглаженные формы с явно выраженным эффектом оплавления (рис. 3).

Сложение шлака пористое, размер пор варьирует в широких пределах. Строение гранулированного шлака скрыто- и/или неполнокристаллическое. Для скрытокристаллических шлаков характерна перекристаллизация стекла, выраженная в проявлении сферолитоподобного строения (рис. 3, а).

Неполнокристаллические шлаки характеризуются развитием порфирировых выделений, в большей степени акерманита, беспорядочно расположенных в массе шлака (рис. 3, б). Строение основной массы тонкозернистое.

Химический состав доменных шлаков представлен основными шлакообразующими оксидами — CaO (39 %), MgO (8.2 %), Al_2O_3 (9.9 %) и SiO_2 (39 %), на которые приходится 96.1 % всего состава шлака. Остальные 3.9 % — марганец, титан, соединения железа, серы и др.

Гранулированный шлак, по данным рентгенографического анализа, имеет большей частью аморфную составляющую (90 вес. %), в подчиненном количестве присутствуют кальцит (3 %), акерманит (5 %) и гематит (2 %).

Высокое содержание аморфной составляющей в шлаке свидетельствует о достаточно быстром охлаждении. Практика использования измельченного шлака непосредственно перед изготовлением закладочной смеси показывает, что аморфная компонента оказывает существенное влияние на набор прочности массива.

Рис. 3. Строение гранулированного шлака: а — перекристаллизованное стекло шлака, б — порфирировые выделения акерманита. Проходящий свет, николи параллельны (а) и скрещены (б)

Fig. 3. The structure of the granulated slag and glass slag recrystallization, б — porphyry highlight akermanite. Transmitted light, parallel nicols (a) and crossed (b)

Теоретически это может быть обосновано формированием устойчивых композиций на кремниевой основе и силикатов кальция, входящих в состав шлака.

Для изучения процессов, протекающих в техногенном массиве, проба закладки исследовалась методами РКФА и ДТА. Установлено содержание следующих компонентов (прибл. вес., %): кварца — 8, кальцита — 2, акерманита — 2, пирита — 11, слюды — 1, хлорита — 1, аморфной составляющей — 75.

Результаты ДТА пробы закладки представлены на рис. 4. На дериватограмме кривую нагревания можно разбить на три основных участка. Участок 1 — от комнатной температуры до 420 °С. На этом участке наблюдается четко выраженный эндотермический эффект с максимумом на 180 °С с потерей веса образца 3 %, что объясняется потерей межслоевой молекулярной воды в слюде и, вероятно, потерей воды из рентгеноаморфной составляющей.

Участок 2 — от 380 до 800 °С — характеризуется окислением пирита с образованием гематита, сложными процессами диссоциации пирита и новых соединений, образующихся при окислении пирита, реакциями взаимодействия вновь образованных соединений и пирита [14]. На этой стадии наряду с незначительной (0.5 %) потерей веса наблюдается увеличение веса пробы на 5 %. На участке 3 — от 800 до 980 °С — происходит диссоциация кальцита с образованием CaO . На этом этапе продолжается увеличение веса пробы на 1 %. Следует отметить, что на всем диапазоне измерений весьма вероятно влияние процессов, происходящих с рентгеноаморфной составляющей пробы.

После прокаливании пробы до 980 °С данными РКФА установлено следующее содержание (%): кварца — 8, ангидрита — 18, гематита — 12, акерманита — 16, пироксена — 16, слюды — 1, хлорита — 1, аморфной фазы — 30.

Компоненты шлака и хвостов обогащения являются химически активными на начальной стадии твердения массива, что подтверждается появлением ангидрита, гематита при прокаливании пробы, снижением содержания аморфной составляющей. Пирит в хво-

Рис. 4. Дериватограмма пробы закладки ПАО «Гайский ГОК»
Fig. 4. Sample thermogram, JSC «Gaisky GOK»

стах обогащения инициирует протекание химических реакций [6]. При взаимодействии с водой, подаваемой для затворения смеси, пирит, окисляясь, создает агрессивную среду, в которой остальные компоненты смеси образуют новые минеральные фазы, не являющиеся кристаллическими и работающие в дальнейшем как цементирующая составляющая:

Цемент в пробе закладки, как установлено оптико-петрографическим анализом, характеризуется тонкой и мелкозернистым строением. В состав цемента входят как тонкодисперсные частицы шлака и хвостов обогащения, так и вновь образованные минеральные фазы, являющиеся продуктом реакции минералов шлакопортландцемента, гранулированного шлака и хвостов обогащения. Данный вывод подтверждается результатами петрографического анализа, выявлением гидроксидов железа на границе «обломок—цемент». На поверхности зерен хвостов обогащения образование дополнительных минеральных фаз, содержащих медь или цинк, установлено не было.

Заключение

Комплексирование минералого-аналитических методов: оптической микроскопии, количественного рентгенографического и дифференциально-термического анализов — для исследования составных компонентов закладочной смеси и пробы закладки из камеры подземного рудника ПАО «Гайский ГОК» в возрасте 180 суток позволило определить минеральный состав, наличие новых минеральных фаз, связанных с протеканием химических реакций на начальной стадии твердения технического камня.

Новообразований в виде новых минеральных фаз, содержащих цветные металлы, не установлено.

Технический камень, формирующийся в закладочной камере из разных по происхождению, составу и активности компонентов, обладает инертностью.

Закладочный массив может рассматриваться как эпигенетический техногенный массив.

Представленный методический подход к управлению отходами направлен на решение таких крупных проблем, как постепенный переход к внедрению в горную промышленность ресурсопроизводящих технологий, организация системного подхода к утилизации минерального сырья, снижение вредного воздействия на экологию в зоне влияния горных предприятий.

Литература

1. Гавришев С. Е., Заляднов В. Ю., Пыталев И. А. Расширение области рационального использования техногенных георесурсов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2006. № 9. С. 252–258.
2. Гавришев С. Е., Пыталев И. А. Перспективные направления использования отвалов и выработанного карьерного пространства // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2007. № 4. С. 10–14.
3. Горбатова Е. А., Емельяненко Е. А., Лебедев А. Н. Влияние вещественного состава шлаков на выбор области их применения // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения — 2017): Материалы Междунар. науч.

конф., Красноярск, 12–15 сентября 2017 г. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. С. 105–107.

4. Горбатова Е. А., Ожогина Е. Г., Лебедев А. Н., Емельяненко Е. А., Харченко А. С., Селиванов В. Н. Целесообразность комплексирования минералого-аналитических методов изучения металлургических шлаков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2017. № 4 (44). С. 31–39.

5. Государственные доклады об охране и о состоянии окружающей среды Российской Федерации. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101> (дата обращения: 24.02.2019 г.).

6. Емельяненко Е. А. К вопросу о применении в закладочных смесях техногенных отходов горно-обогатительных предприятий медного комплекса // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: Сб. науч. тр. по материалам II Междунар. науч.-практ. конф. Магнитогорск, 2015. С. 108–115.

7. Иванова В. П., Касатов Б. К., Красавина Т. Н., Розина Е. Л. Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра, 1974. 399 с.

8. Игнатова А. М. Исследование возможности использования техногенного сырья к производству волокна и литых заготовок петругическим рециклингом // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 4. С. 141–153.

9. Калмыков В. Н., Зотеев О. В., Зубков Ан. А., Гоготин А. А., Зубков А. А. Опыт-промышленные испытания технологии закладки выработанного пространства учалинского карьера отходами обогатительного передела // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 7. С. 4–9.

10. Калмыкова Ю. С. Переработка отвальных доменных шлаков с получением шлакощелочных вяжущих // Экология и промышленность России. 2014. Март. С. 21–25.

11. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Горнопромышленные отходы: минералогические особенности // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 43–49. (doi 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49).

12. Переработка шлаков на ММК и «Электростали» // Аналитический портал химической промышленности. Newchemistry.ru. Новые химические технологии. М., 2006–2017. URL: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=3539. (дата обращения: 20.01.2019).

13. Рыльникова М. В., Емельяненко Е. А. Предпосылки перехода к экологически сбалансированному освоению медно-колчеданных месторождений // Горный журнал. 2015. № 11. С. 36–41.

14. Трубкин И. С., Зубков А. А. Закладочные смеси для горных выработок с применением конверторных шлаков ММК и хвостов обогащения медно-серных руд // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2007. № 3. С. 12–14.

15. Kotova O. B., Ignatiev G. V., Shushkov D. A., Harja M. Preparation and properties of ceramic materials from coal fly ash // Minerals: structure, properties, methods of investigation — 9th Geoscience Conference for Young Scientists, Ekaterinburg, Russia, February 5–8, 2018.

16. Ozhogina E. G., Kotova O. B. New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in complex ore treatment // IMPC 2018 — 29th International Mineral Processing Congress. 2019. P. 32–40.

References

1. Gavrishev S. E., Zalyadnov V. Yu., Pytalev I. A. *Rasshirenie oblasti racional'nogo ispol'zovaniya texnogennoy'x georesursov* (Expan-

sion of field of rational use of technogenic georesources). Mountain information and analytical bulletin (scientific and technical magazine), 2006, No. 9, pp. 252–258.

2. Gavrishchev S. E., Pytalev I. A. *Perspektivny'e napravleniya ispol'zovaniya otvalov i vy'rabotannogo kar'ernogo prostranstva* (The perspective directions of use of dumps and the developed career space). Messenger of the Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov, 2007, No. 4, pp. 10–14.

3. Gorbatova E. A., Yemelyanenko E. A., Ebedev A. N. *Vliyaniye veshchestvennogo sostava shlakov na vy'bor oblasti ix primeneniya* (Influence of material composition of slags on the choice of field of their application). Modern problems of complex processing trudnoobogatimyykh of ores and technogenic raw materials (Plaskinsky readings – 2017): Materials Mezhdunar. nauch. konf., Krasnoyarsk, on September 12 – 15, 2017 – Krasnoyarsk: Sib. feeder. un-t, 2017, pp. 105–107.

4. Gorbatova E. A., Ozhogina E. G., Lebedev A. N., Yemelyanenko E. A., Harchenko A. S., Selivanov V. N. *Celesobraznost' kompleksirovaniya mineralogo-analiticheskikh metodov izucheniya metallurgicheskikh shlakov* (Expediency of integration of mineralogo-analytical methods of studying of metallurgical slags). Bulletin of the Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov, 2017, No. 4 (44), pp. 31–39.

5. *Gosudarstvenny'e doklady' ob okhrane i o sostoyanii okruzhayushhej sredy' Rossijskoj Federacii*. (State reports on protection and on state of environment of the Russian Federation [Electronic resource]. URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101> (date of the address of 24.02.2019).

6. Yemelyanenko E. A. *K voprosu o primenении v zakladochny'x smesyax texnogenny'x otxodov gorno-obogatitel'ny'x predpriyatij mednogo kompleksa* (To a question of application in stowage mixes of technogenic waste of the mining and processing enterprises of a copper complex). Surveying and geological ensuring mining operations: Collection of scientific papers of the II International Scientific and Practical Conference Magnitogorsk, 2015, pp. 108–115.

7. Ivanova V. P., Kasatov B.K., Krasavina T. N., Rozinova E. L. *Termicheskij analiz mineralov i gorny'x porod* (Thermal analysis of minerals and rocks). L.: Nedra, 1974. 399 p.

8. Ignatova A.M. *Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya texnogenogo sy'r'ya k proizvodstvu volokna i lity'x zagotovok petrurgicheskim reciklingom* (A research of a possibility of use of technogenic raw materials to production of fiber and cast preparations by

a petrurgicheskoy recycling). The Scientific and technical bulletin of the Volga region, 2013, No. 4, pp. 141–153.

9. Kalmykov V. N., Zoteev O. V., Ubkov An. And., Gogotin A. A., Zubkov A. A. *Opy'no-promyshlennyye ispy'taniya tekhnologii zakladki vy'rabotannogo prostranstva uchalskogo kar'era otkodami obogatitel'nogo peredela* (Trial tests of technology of laying of the developed space of an uchalsky pit with waste of concentrating repartition). News of higher education institutions. Mountain magazine, 2013, No. 7, pp. 4–9.

10. Kalmykova Yu. S. *Pererabotka otval'ny'x domenny'x shlakov s polucheniem shlakoshchelochny'x vyazhushhix* (Processing of dump domain slags with receiving the shlakoshchelochnykh knitting). Ecology and the industry of Russia, 2014, March, pp. 21 – 25.

11. Ozhogina E. G., Kotov O. B., Yakushina O.A. *Gornopromyshlennyye otkody': mineralogicheskie osobennosti* (Mining waste: mineralogical features). Bulletin of Institute of geology of Komi NTs OURO RAHN, 2018, No. 6, pp. 43 – 49. (doi 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49).

12. *Pererabotka shlakov na MMK i «Elektrostali»* (Processing of slags on MMK and Elektrostal). The Analytical portal of chemical industry. Newchemistry.ru. New chemical technologies. M, 2006–2017. URL: <http://www.newchemistry.ru/printletter.php?nid=3539>. (date of the address 20.01.2019).

13. Rylnikova M. V., Yemelyanenko E. A. *Predposylki perexoda k ekologicheski sbalansirovannomu osvoeniyu mednokolchედannyy'x mestorozhdenij* (Prerequisites of transition to ecologically balanced development of chalcopyrite fields). Mountain magazine, 2015, No. 11, pp. 36–41.

14. Trubkin I. S., Zubkov A. A. *Zakladochnyye smesi dlya gorny'x vy'rabotok s primeneniye konvertorny'x shlakov MMK i xvostov obogashheniya medno-serny'x rud* (Stowage mixes for excavations about use of converter slags of MMK and tails of enrichment of copper-sulfur ores). The Bulletin of the Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosov, 2007, No. 3, pp. 12–14.

15. Kotova O. B., Ignatiev G. V., Shushkov D. A., Harja M. Preparation and properties of ceramic materials from coal fly ash. Minerals: structure, properties, methods of investigation — 9th Geoscience Conference for Young Scientists, Ekaterinburg, Russia, February 5–8, 2018.

16. Ozhogina E. G., Kotova O. B. New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in complex ore treatment. IMPC 2018 – 29th International Mineral Processing Congress, 2019, pp. 32–40.