

УДК 622.014.3:553.042(470.5)

Титов Роман Сергеевич

старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: ukrigd15@mail.ru

Кантемиров Валерий Данилович

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией управления
качеством минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: ukrkant@mail.ru

Яковлев Андрей Михайлович

старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: quality@igduran.ru

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ УРАЛА****Аннотация:*

Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых является приоритетным направлением совершенствования горного дела, включающим максимально возможное извлечение основного ценного компонента полезного ископаемого, а также изыскание технико-технологических решений по извлечению попутного минерального сырья. Приведены результаты лабораторных исследований титаномагнетитовых руд и хвостов обогащения, а также техногенных образований Челябинской обл. Представлены результаты оценки ряда вскрышных горных пород ОАО «Ураласбест» (перидотит, диорит, габбро и серпентинит) на предмет соответствия их физико-механических свойств требованиям нормативных документов для использования при производстве щебня. Обобщена информация о техногенных образованиях Урала и возможности их освоения с целью извлечения ценных компонентов и производства строительных материалов. Реализация предложенных мероприятий позволит увеличить загрузку горнодобывающего и обогащательного оборудования действующих производств, позволит обеспечить более рациональное использование недр и земельных угодий, увеличить объемы валовой продукции и номенклатуры товарной на действующих горных предприятиях без существенного расширения производственных площадей, а также сокращение площадей, отводимых под отвалы, и затрат на складирование скальных пород и содержание отвального хозяйства, снижение транспортных расходов.

Ключевые слова: комплексная разработка, минеральные ресурсы, техногенные образования, физико-механические свойства горных пород, кубовидный щебень, экономическая эффективность.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.024

Titov Roman S.

Senior Researcher,
Laboratory of mineral quality management,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: ukrigd15@mail.ru

Kantemirov Valery D.

Candidate of Technical Sciences,
Head of Laboratory of mineral
quality management,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: ukrkant@mail.ru

Yakovlev Andrei M.

Senior Researcher,
Laboratory of mineral quality management,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: quality@igduran.ru

**ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR
THE INTEGRATED DEVELOPMENT
OF MINERAL RESOURCES OF THE URALS***Abstract:*

Complex development of mineral deposits is a priority area of mining improvement, including the maximum possible extraction of the main valuable component of the minerals, as well as the search for technical and technological solutions for the extraction of concomitant mineral raw materials. The article presents the results of laboratory studies of titanomagnetite ores and enrichment tailings, as well as of technogenic formations of the Chelyabinsk region. The paper presents results of the evaluation for a number of overburden rocks on Uralasbest enterprise (such as peridotite, diorite, gabbro and serpentinite) for compliance of their physical and mechanical properties with the requirements of regulatory documents for use in the production of crushed stone. It summarizes the information about the technogenic formations of the Urals and the possibility of their development in order to extract valuable components and produce building materials. The implementation of the proposed measures will increase the utilization of mining and processing equipment on existing production facilities, it will allow more rational use of subsoil and land and increase the volume of gross output and commodity nomenclature at existing mining enterprises without significantly expanding of their production areas, as well as reducing the areas allocated for dumps and the cost of storing rocks and maintenance dump economy, reduction of transport costs.

Key words: complex development, mineral resources, technogenic formations, physical and mechanical properties of rocks, cuboid crushed stone, economic efficiency.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00412-22 ПР, тема 1 (2022-2024) (FUWE-2022-0005, рег. №1021062010531-8-1.5.1.

Введение

Перспективные для комплексного освоения месторождений попутные полезные ископаемые и компоненты в зависимости от форм нахождения разделяются на три основные группы [1]:

- к I группе относятся сопутствующие полезные ископаемые, образующие самостоятельные пласты, залежи или рудные тела в породах, вмещающих основные полезные ископаемые. К этой же группе относятся вскрышные породы, по составу и свойствам пригодные для производства строительных материалов;

- к II группе относятся попутные компоненты (минералы), которые не образуют самостоятельных залежей и при обогащении могут быть выделены в самостоятельные концентраты или промпродукты в количествах, допускающих их последующее извлечение;

- к III группе относятся различного рода примеси в минералах основных и попутных компонентов II группы. Преобладающую часть ценных попутных компонентов III группы составляют так называемые рассеянные и редкоземельные элементы, широко распространенные в твердых полезных ископаемых (ПИ) при весьма низких содержаниях.

На рис. 1 представлены основные направления комплексного освоения минерального сырья, включая попутные ПИ и ценные компоненты [2, 3].

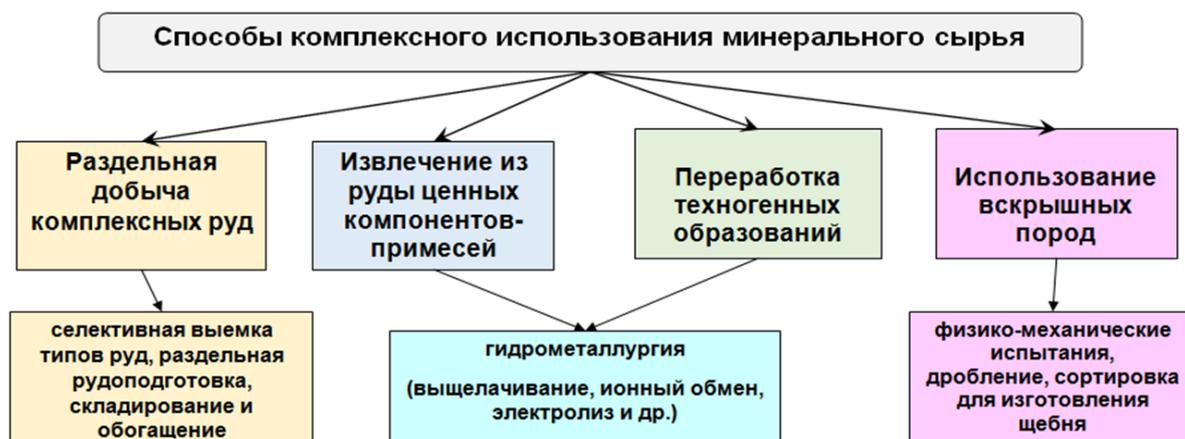


Рис. 1. Основные направления комплексного использования минерального сырья

На месторождениях, намечаемых к разработке открытым способом, в настоящее время производится оценка возможности использования пород вскрыши. По данным петрографического исследования пород вскрыши по выработкам, пройденным для разведки основных полезных ископаемых, выделяются осадочные породы и петрографические разновидности изверженных пород, пригодные для производства строительных материалов. Возможность их комплексного использования устанавливается по результатам оценки качественных показателей, регламентируемых государственными стандартами или техническими условиями для соответствующих видов продукции.

Попутные компоненты могут иметь промышленное значение лишь в случае, если степень их концентрации в продуктах обогащения, металлургического или химического передела, а также технология последующей переработки данных продуктов обеспечивают экономически эффективное извлечение этих компонентов.

При необходимости запасы попутных компонентов II и III группы подсчитываются отдельно в контурах балансовых и забалансовых запасов содержащих их полезных ископаемых. Отнесение запасов попутных компонентов к той или иной категории определяется степенью их изученности, характером распределения, формами нахождения и технологией извлечения.

Результаты исследований

В регионе Урала достаточно широко распространены комплексные рудные месторождения – титаномагнетитовые, медно-цинковые и др. В комплексных рудах часто содержатся примеси редких металлов, например в титаномагнетитовых – V, Sc, Nb, Ti и др. [4 – 8]. Наличие в достаточном для извлечения количестве примесей редких элементов повышает ценность руд.

Исследованиями лаборатории управления качеством минерального сырья (УКР) ИГД УрО РАН титаномагнетитовой руды установлено, что более 95 % Sc_2O_3 , содержащегося в руде, концентрируется в ее силикатных минералах (диопсиде $CaMgSi_2O_6$ и роговой обманке) и ильмените ($FeTiO_3$), в среднем 0,013 % Sc_2O_3 . На долю диопсида приходится около 90 % содержащегося в титаномагнетитовых рудах скандия, который изоморфно входит в состав минерала (табл. 1).

Таблица 1

Распределения содержания Sc в минералах титаномагнетитовой руды

Рудные пироксениты	Минерал	Среднее содержание Sc, г/т
Клинопироксен	Диопсид $CaMg[Si_2O_6]$	119
Амфиболы	Роговая обманка $(Ca_2Na(Mg, Fe, Al)_5[(Si, Al)_4O_{11}]_2(OH)_2)$	110,8
Ильменит	$FeTiO_3$	99,5
Серпентин	$A_{2-3}Si_2O_5(OH)_4$, где A = Mg, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ni, Al, Zn, Mn	16,1
Титаномагнетит	$(Fe, Ti)Fe_2O_4$	15,2
Оливин	$(Mg, Fe)_2[SiO_4]$	5,1
Плагиоклаз	Полевой шпат $(Na, Ca)(Si, Al)_4O_8 - (Na, Ca) Al (Si, Al)_3O_8$	1,6
Итого		Среднее Sc 105,5 г/т

Из текущих хвостов мокрой магнитной сепарации (ММС), получаемых при обогащении титаномагнетитовых руд и содержащих в больших объемах минерал диопсид, может быть извлечен такой ценный компонент, как скандий (табл. 2) [4, 5] методами гидрометаллургии.

Таблица 2

Содержание наиболее перспективных ценных компонентов в продуктах магнитной сепарации титаномагнетитовой руды (результаты лаборатории УКР ИГД УрО РАН)

Элемент	Содержание элементов, г/т		
	Магнитная фракция исходного сырья	Хвосты обогащения (ХВ) по стадиям	
		ХВ ММС-I	ХВ ММС-II
Sc	121	113	124
V	257	313	299
Cr	62,8	34,3	29,7
Mn	1010	1126	1245
Co	42,8	50,4	52,2
Ni	40,1	47,0	38,1
Cu	17,9	23,9	41,0
Zn	33,5	29,6	49,2
W	53,5	< 0,080	< 0,080

Рассматривается возможность организации на базе ГОКа опытно-промышленного гидрометаллургического производства для получения из текущих хвостов ММС

оксида скандия марки ОС-99 (с содержанием Sc_2O_3 – 99 %), который является товарным продуктом с рыночной стоимостью ~ 4,5 \$/г. Скандий и его соединения в настоящее время широко применяются в инновационных высокотехнологичных отраслях экономики.

Другим направлением получения ценных компонентов методами гидрометаллургии является вовлечение в переработку лежалых хвостов (хвостохранилищ) обогащения руд цветных металлов на обогатительной фабрике.

Уральский регион располагает накопленными за десятилетия значительными объемами техногенных образований, которые после предварительной инновационной подготовки производства могут быть использованы в качестве сырьевой базы для извлечения ценных компонентов [9 – 15]. Наиболее привлекательными для первоочередного освоения являются техногенные объекты, имеющие более высокое содержание ценных компонентов, востребованных на рынке (медь, цинк) и особенно благородных металлов (золото, серебро). К таким объектам относятся техногенные образования, расположенные в Челябинской области в районе городов Карабаш и Пласт.

Лабораторией УКР ИГД УрО РАН выполнен ряд исследований с использованием портативного анализатора металлов типа Thermo NITON XL2 [16 – 18] по изучению химического состава минерального материала техногенных образований Челябинской области с целью оценки качественного состава и содержания в них ценных компонентов.

В известном экологически неблагополучном Карабаше на 27 га складировано более 20 млн т шлака, накопившегося с демидовских времен. В нем содержится значительное количество меди, золота, серебра, редких металлов. Установленное среднее содержание золота составляет 0,6 г/т.

В отвалах г. Пласт отходы обогащения фабрик XIX века занимают площадь более 1,2 км². Результаты изучения химического состава минерального материала с отвалов золоторудного производства г. Пласт показали, что содержание золота в опытных пробах составляет 0,25 – 1,05 г/т, соответственно, содержание серебра 0,2 – 2,79 г/т. Предварительной оценкой техногенного минерального материала отвалов г. Пласт они были отнесены к золото-серебряному типу, по степени окисления – к сульфидному подтипу; по наличию осложняющих технологию обработки компонентов – мышьяковистый тип; по характеристике крупности золота – материал представлен мелкой и тонкодисперсной фракцией. Таким образом, предварительно было установлено, что основной способ обработки материала будет заключаться в селективной флотации с цианированием (выщелачиванием) хвостов.

Одно из перспективных направлений комплексного использования сырья – вскрышные породы горнодобывающих производств. Использование вскрышных пород действующих горнодобывающих предприятий для производства строительных материалов может стать важным источником расширения минерально-сырьевой базы Урала при минимальных дополнительных капитальных вложениях. Среди вмещающих горных пород особый интерес представляют породы габбро-базальтовой группы, пригодные для получения минерального волокна и изделий на его основе, соответствующих всем требованиям стандартов. Многие месторождения этой группы находятся вблизи потенциальных потребителей, что позволяет сократить затраты на транспортировку продукции. Значительными запасами пород габбро располагает одно из крупнейших горнодобывающих предприятий Урала – ОАО «Ураласбест». На базе вскрышных пород габбро Центрального участка карьера организовано экспериментальное производство минеральной ваты. Лабораторией УКР ИГД УрО РАН были выполнены работы по оконтуриванию залежи габбро в пределах карьера АО «Ураласбест» с использованием методов электро-разведки [19].

Граниты, доломиты, известняки также являются одними из наиболее перспективных для промышленного использования вмещающих пород рудных карьеров Урала. По своим физико-механическим свойствам значительная часть вскрышных пород этой

группы соответствует требованиям ГОСТ 8267-93, ГОСТ 31436-2011, ГОСТ 25607-2009 и может быть использована для производства строительных материалов. Щебень из этих скальных пород пригоден для производства армированного и неармированного бетона (ГОСТ 32495-2013), устройства балластного слоя внутризаводских железнодорожных путей (ГОСТ 7392-2014), строительства автомобильных дорог (ГОСТ 32703-2014), искусственных оснований под фундаменты и др.

В настоящее время дорожно-строительные материалы производятся, как правило, на мелких предприятиях, эксплуатирующих многочисленные месторождения. При этом для их разработки под горный отвод часто неоправданно отчуждаются плодородные земли, происходит загрязнение атмосферы, воды и близлежащих земель, а в технологических схемах производства щебня предусматривается ведение буровзрывных работ и первичное дробление горной массы в дробилках крупного дробления, т. е. работы, которые выполняются на крупных горно-обогатительных комбинатах. Промышленное производство кубического щебня из пород скальной вскрыши горнодобывающих предприятий Урала может стать одним из наиболее реальных направлений повышения эффективности открытых горных работ и одновременно комплексного освоения недр.

В табл. 3 представлены объемы сопутствующего производства щебня на крупных горнодобывающих предприятиях Урала.

Лаборатория УКР ИГД УрО РАН выполнила комплекс исследований 4-х разновидностей вскрышных горных пород ОАО «Ураласбест» (перидотит, диорит, габбро и серпентинит, рис. 2) на соответствие их требованиям ГОСТ 31436-2011 как сырья для производства щебня. Основные результаты лабораторных испытаний горных пород представлены в табл. 4 [20].

Таблица 3

Объемы основного и сопутствующего производства на крупных горнодобывающих предприятиях Свердловской области за 2014 – 2019 гг.

Горнодобывающее предприятие (ГОК)	Объемы производства	
	товарной руды, тыс. т	щебня, тыс. м ³
ОАО «Ураласбест»	463,7	3467,8
ОАО «ЕВРАЗ КГОК» (Качканарский ГОК)	10253	2955
ОАО «Первоуральское рудоуправление»	63,4	1874
ОАО «Богословское рудоуправление»	11164,4	752
ОАО «ЕВРАЗ ВГОК» (Высокогорский ГОК)	1226,8	698



Рис. 2. Образцы вскрышных горных пород карьера АО «Ураласбест», подготовленные для испытаний

По результатам исследований физико-технических свойств три из четырех оцениваемых горных пород (диорит, габбро и перидотит) были отнесены к породам, пригодным для производства из них щебня, за исключением слабых и неоднородных разновидностей (серпентинит).

Таблица 4

Результаты лабораторных исследований вскрышных горных пород карьера АО «Ураласбест» на пригодность их для производства щебня

Контролируемый параметр	Результаты испытаний (средние значения)			
	диорит	габбро	серпентинит	перидотит
Марка породы по пределу прочности при сжатии	M1000	M800	<i>M400</i>	M1400
Средняя плотность горной породы в сухом состоянии, кг/см ³	2,6	2,88	2,55	2,76
Морозостойкость горной породы (базовый метод, метод попеременного замораживания и оттаивания):				
- 25 циклов, средняя прочность после испытания, МПа	123,5	127,9	<i>61,2</i>	126,2
- 35 циклов, средняя прочность после испытания, МПа	189,4	123,0	57,8	134,6
- неоднородность пород при 35 циклах, %	33,1	37,3	23,5	31,4
Марка породы по истираемости, определяемая испытаниями щебня из этой породы	И-I			
Марка породы по прочности, определяемая по дробимости щебня из этой породы	1400 (перидотит, диорит, габбро); <i>1200 (серпентинит)</i>			
Марка породы по морозостойкости, определяемая ускоренным методом по щебню из этой породы	F400			

* курсивом отмечены параметры, не соответствующие ГОСТам

Выводы

Комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов может значительно повысить качественные технико-экономические показатели работы горнодобывающих предприятий. Реализация мероприятий по увеличению загрузки горнодобывающего и обогащательного оборудования скальной породой с последующей их комплексной переработкой обеспечивает:

- более рациональное использование недр и земельных угодий;
- высокий уровень концентрации и комбинирования производства за счет создания совмещенных и сопряженных предприятий по переработке попутно добываемых полезных ископаемых;
- значительное увеличение объемов валовой продукции и номенклатуры товарной на действующих горных предприятиях без существенного расширения производственных площадей;
- высокую эффективность капитальных вложений в расширение горных предприятий при незначительных удельных капитальных затратах на попутную продукцию (меньше в 2 – 2,5 раза, чем на соответствующих специализированных предприятиях);
- существенное снижение себестоимости попутной товарной продукции (в 1,5 - 1,7 раза) по сравнению со специализированными предприятиями; значительное уменьшение фондоемкости и увеличение фондоотдачи горных предприятий;
- сокращение площадей, отводимых под отвалы, и затрат на складирование скальных пород и содержание отвального хозяйства; снижение транспортных расходов.

Список литературы

1. *Методические рекомендации по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов: рекомендованы к использованию протоколом МПР России от 03.04.2007 №11-17/0044-пр. ФГУ «ГКЗ».* Москва: ГКЗ Минприроды РФ, 2007. – 15 с.
2. Кантемиров В.Д., 2014. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 6, С. 369 – 373.
3. Мельников А.В. Кантемиров В.Д., Лаптев Ю.В., Титов Р.С., 2012. Минерально-сырьевая база и перспективы развития горнопромышленного комплекса Свердловской области. *Горный журнал*, № 1, С. 22 – 24.
4. Быховский Л.З., Потанин С.Д., Котельников Е.И., 2016. О перспективах и очередности освоения минерально-сырьевого потенциала редкоземельного и скандиевого сырья России. *Разведка и охрана недр*, № 8, С. 3 – 8.
5. Трошкина И.Д., Вацура Ф.Я., Жукова О.А., Тарганов И.Е., Руденко А.А., 2019. Извлечение скандия из нетрадиционного железорудного сырья. *Успехи в химии и химической технологии*. Том XXXIII, № 1, С. 68 – 70.
6. Шубина М.В., Махоткина Е.С., 2013. Исследование возможности извлечения ванадия из шлаков переработки титаномагнетитов. *Теория и технология металлургического производства*, № 1 (13), С. 75 – 77.
7. Махоткина Е.С., Шубина М.В., 2015. Шлаки процесса прямого восстановления железа как источник получения ванадия и титана. *Теория и технология металлургического производства*, № 2 (17), С. 60 – 65.
8. Гусева Ю.О., Сычева Т.С., Моторина О.С., Сериченко Ю.С., Боброва З.М., 2013. Формирование шлаков металлургического передела и основные направления их применения. *Теория и технология металлургического производства*, № 1 (13), С. 59 – 62.
9. Харченко Е.М., Ульева Г.А., Егорова Т.Г., Рахимбеков С.С., 2015. Переработка шлаков медеплавильного производства. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, № 7(1), С. 30 – 33.
10. Шешуков О.Ю., Михеенков М.А., Некрасов И.В., Егиазарьян Д.К., Лобанов Д.А., Овчинникова Л.А., 2017. Технологические особенности комплексной переработки шлаков сталеплавильной отрасли в товарные продукты. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*, Т. 1, С. 87 – 90.
11. Шубина М.В., Махоткина Е.С., 2016. Утилизация техногенных отходов путем гидрометаллургической переработки. *Молодой ученый*, № 27 (131), С. 180 – 183.
12. Шатохин И.М., Кузьмин А.Л., Смирнов Л.А., Леонтьев Л.И., Бигеев В.А., Манашев И.Р., 2017. Новый способ переработки техногенных отходов металлургического производства. *Металлург*, № 7, С. 19 – 24.
13. Дильдин А.Н., Чуманов И.В., Еремяшев В.Е., Жеребцов Д.А., 2015. Об использовании отвальных шлаков Златоустовского металлургического завода. *Электрометаллургия*, № 4, С. 28 – 33.
14. Арынгазин К.П., Станевич В.Т., Глеулесов А.К., Куандыков А.Б., Шапихова Н.Е., 2018. Исследование процессов производства бетонных изделий на основе сталеплавильных шлаков. *Наука и техника Казахстана*, № 4, С. 43 – 49.
15. Леонтьев Л.И., Шешуков О.Ю., Цепелев В.С., Михеенков М.А., Некрасов И.В., Егиазарьян Д.К., 2014. Технологические особенности переработки сталеплавильных шлаков в строительные материалы и изделия. *Строительные материалы*, № 10, С. 70 – 73.
16. Teo P.-T., Seman A.A., Basu P., Nurulakmal, Sharif M., 2014. Recycling of Malaysia's electric arc furnace (EAF) slag waste into heavy-duty green ceramic tile. *Waste Management*, V. 34, I.12, P. 2697 – 2708.

17. Hesami S., Ameri M., Goli H., Akbari A., 2014. Laboratory investigation of moisture susceptibility of warmmix asphalt mixtures containing steel slag aggregates. *International Journal of Pavement Engineering*, V. 16, P. 745 – 759.

18. Santamaria A., Roji E., Skaf M., Marcos I., Gonzalez J.J., 2016. The use of steelmaking slags and fly ash in structural mortars. *Construction and building materials*, V. 106, P. 364 – 373.

19. Тимохин А.В., Титов Р.С., Яковлев А.М., Козлова М.В., 2020. Исследование возможности электрметрии для сортовой геометризации залежи пород группы габбро в сырьевых нормах минераловатного производства (из архивов оксидметрической разведки Урала). *Проблемы недропользования*, № 2(25), С. 160 – 165. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.160

20. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., Козлова М.В., 2019. Исследование горных пород карьера ОАО «Ураласбест» на соответствие требованиям для производства из них строительных материалов. *Маркшейдерия и недропользование*, № 3(101), С. 42 – 47.

References

1. Metodicheskie rekomendatsii po kompleksnomu izucheniyu mestorozhdenii i podschetu zapasov poputnykh poleznykh iskopaemykh i komponentov: rekomendovany k ispol'zovaniyu protokolom MPR Rossii ot 03.04.2007 №11-17/0044-pr [Methodological recommendations for the comprehensive study of deposits and calculation of reserves of concomitant minerals and components: recommended for use by the Protocol of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 03.04.2007 No. 11-17/0044-pr]. FGU «GKZ» . Moscow: GKZ Minprirody RF, 2007. – 15 p.

2. Kantemirov V.D., 2014. Tekhnologicheskie osobennosti osvoeniya novykh syr'evykh baz [Technological features of the development of new raw materials bases]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 6, P. 369 – 373.

3. Mel'nikov A.V. Kantemirov V.D., Laptev Yu.V., Titov R.S., 2012. Mineral'no-syr'evaya baza i perspektivy razvitiya gornopromyshlennogo kompleksa Sverdlovskoi oblasti [Mining and raw materials base and prospects for the development of the mining complex of the Sverdlovsk region]. *Gornyi zhurnal*, № 1, P. 22 – 24.

4. Bykhovskii L.Z., Potanin S.D., Kotel'nikov E.I., 2016. O perspektivakh i ocherednosti osvoeniya mineral'no-syr'evogo potentsiala redkozemel'nogo i skandievogo syr'ya Rossii [On the prospects and priorities of the development of the mineral resource potential of rare earth and scandium raw materials in Russia]. *Razvedka i okhrana nedr*, № 8, P. 3 – 8.

5. Troshkina I.D., Vatsura F.Ya., Zhukova O.A., Targanov I.E., Rudenko A.A., 2019. Izvlechenie skandiya iz netraditsionnogo zhelezorudnogo syr'ya. Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii [Extraction of scandium from unconventional iron ore raw materials]. *Vol. XXXIII*, № 1, P. 68 – 70.

6. Shubina M.V., Makhotkina E.S., 2013. Issledovanie vozmozhnosti izvlecheniya vanadiya iz shlakov pererabotki titanomagnetitov [Investigation of the possibility of extracting vanadium from the slags of titanomagnetites processing]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*, № 1 (13), P. 75 – 77.

7. Makhotkina E.S., Shubina M.V., 2015. Shlaki protsessa pryamogo vosstanovleniya zheleza kak istochnik polucheniya vanadiya i titana [Slags of the process of direct recovery of iron as a source of obtaining vanadium and titanium]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*, № 2 (17), P. 60 – 65.

8. Guseva Yu.O., Sycheva T.S., Motorina O.S., Serichenko Yu.S., Bobrova Z.M., 2013. Formirovanie shlakov metallurgicheskogo peredela i osnovnye napravleniya ikh primeneniya [Formation of metallurgical processing slags and the main directions of their application]. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*, № 1 (13), P. 59 – 62.

9. Kharchenko E.M., Ul'eva G.A., Egorova T.G., Rakhimbekov S.S., 2015. Pererabotka shlakov medeplavil'nogo proizvodstva . [Processing of copper smelting slags]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, № 7(1), P. 30 – 33.
10. Sheshukov O.Yu., Mikheenkova M.A., Nekrasov I.V., Egiazar'yan D.K., Lobanov D.A., Ovchinnikova L.A., 2017. Tekhnologicheskie osobennosti kompleksnoi pererabotki shlakov staleplavil'noi otrasli v tovarnye produkty [Technological features of complex processing of steelmaking industry slags into marketable products]. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniya*, Vol. 1, P. 87 – 90.
11. Shubina M.V., Makhotkina E.S., 2016. Utilizatsiya tekhnogennykh otkhodov putem gidrometallurgicheskoi pererabotki [Utilization of man-made waste by hydrometallurgical processing]. *Molodoi uchenyi*, № 27 (131), P. 180 – 183.
12. Shatokhin I.M., Kuz'min A.L., Smirnov L.A., Leont'ev L.I., Bigeev V.A., Manashev I.R., 2017. Novyi sposob pererabotki tekhnogennykh otkhodov metallurgicheskogo proizvodstva [A new way of processing technogenic waste of metallurgical production]. *Metallurg*, № 7, P. 19 – 24.
13. Dil'din A.N., Chumanov I.V., Eremyashev V.E., Zherebtsov D.A., 2015. Ob ispol'zovanii otval'nykh shlakov Zlatoustovskogo metallurgicheskogo zavoda [About the use of dump slags of the Zlatoust Metallurgical Plant]. *Elektrometallurgiya*, № 4, P. 28 – 33.
14. Aryngazin K.P., Stanevich V.T., Tleulesov A.K., Kuandykov A.B., Shapikhova N.E., 2018. Issledovanie protsessov proizvodstva betonnykh izdelii na osnove staleplavil'nykh shlakov [Investigation of the production processes of concrete products based on steelmaking slags]. *Nauka i tekhnika Kazakhstana*, № 4, P. 43 – 49.
15. Leont'ev L.I., Sheshukov O.Iu., Tsepelev V.S., Mikheenkova M.A., Nekrasov I.V., Egiazar'yan D.K., 2014. Tekhnologicheskie osobennosti pererabotki staleplavil'nykh shlakov v stroitel'nye materialy i izdeliya [Technological features of the processing of steelmelting slags into building materials and products]. *Stroitel'nye materialy*, № 10, P. 70 – 73.
16. Teo P.-T., Seman A.A., Basu P., Nurulakmal, Sharif M., 2014. Recycling of Malaysia's electric arc furnace (EAF) slag waste into heavy-duty green ceramic tile. *Waste Management*, V. 34, I.12, P. 2697 – 2708.
17. Hesami S., Ameri M., Goli H., Akbari A., 2014. Laboratory investigation of moisture susceptibility of warmmix asphalt mixtures containing steel slag aggregates. *International Journal of Pavement Engineering*, V. 16, P. 745 – 759.
18. Santamaria A., Roji E., Skaf M., Marcos I., Gonzalez J.J., 2016. The use of steelmaking slags and fly ash in structural mortars. *Construction and building materials*, V. 106, P. 364 – 373.
19. Timokhin A.V., Titov R.S., Yakovlev A.M., Kozlova M.V., 2020. Issledovanie vozmozhnosti elektrometrii dlya sortovoi geometrizatsii zalezhi porod gruppy gabbro v syr'evykh normakh mineralovatnogo proizvodstva (iz arkhivov oksidmetricheskoi razvedki Urala) [Investigation of the possibility of electrometry for varietal geometrization of gabbro group rock deposits in the raw material norms of mineral wool production (from the archives of the oxidometric exploration of the Urals)]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2(25), P. 160 - 165. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.160
20. Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M., Kozlova M.V., 2019. Issledovanie gornykh porod kar'era OAO "Uralasbest" na sootvetstvie trebovaniyam dlya proizvodstva iz nikh stroitel'nykh materialov [Investigation of the rocks of the Uralasbest open-pit mine for compliance with the requirements for the production of construction materials from them]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 3(101), P. 42 – 47.