

УДК 504.05

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ И ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ ЮЖНОГО УРАЛА

¹Гильмутдинова Р.А., ²Мичурин С.В., ²Ковтуненко С.В., ¹Елизарьева Е.Н.

¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа, e-mail: rimma_76@inbox.ru;

²Институт геологии УНЦ РАН, Уфа, e-mail: s_michurin@mail.ru

Основная часть запасов медно колчеданных руд России сосредоточена на месторождениях Южного Урала, где широко распространены техногенные месторождения, представляющие собой отходы горного, обогащенного, металлургического и других производств и пригодные по количеству и качеству для промышленного использования. Результаты анализа химического состава и содержания полезных компонентов в золошлаковых смесях медеплавильного завода и отвалов и хвостохранилищ Учалинского, Гайского и Бурибаевского горно-обогатительных комбинатов Южного Урала показали, что в хвостах обогатительных фабрик содержится медь на уровне 0,05–0,17%, цинка – 0,05–0,37%. Расчетное по $S_{\text{общ}}$ содержание в них пирита составляет 4–40%. При этом наибольшие содержания цинка 0,3–0,37% из отвалов и хвостохранилищ Учалинского горно-обогатительного комбината сравнимы с таковыми в добываемых рудах. По данным атомно-абсорбционного анализа в пиритном концентрате, выделенном из образцов отвалов и хвостохранилищ Гайского горно-обогатительного комбината, установлено содержание золота на уровне 0,8–1,2 г/т. В результате природных геохимических процессов на местах функционирования горно-обогатительных комбинатов образуются сернокислые сточные воды. Результаты анализа образцов воды из старого карьера и почвы в районе медно-колчеданного месторождения Куль-Юрт-Тау показали, что сухой остаток после выпаривания воды содержит очень высокие содержания S, Fe, Co, Cu, Zn, Pb и др. В образцах почвы зафиксированы повышенные концентрации тех же элементов, свидетельствующие о сильном загрязнении земли и воды в районе этого месторождения.

Ключевые слова: отходы горно-обогатительных комбинатов, техногенное сырье, вторичная переработка, экологическая безопасность

ON THE QUESTION OF USING AND RECYCLING OF WASTE OF SOUTH URAL MINING AND PROCESSING PLANTS

¹Gilmudinova R.A., ²Michurin S.V., ²Kovtunenکو S.V., ¹Elizareva E.N.

¹Bashkir State University, Ufa, e-mail: rimma_76@inbox.ru;

²Institute of Geology Ufa Scientific Center Russian Academy of Sciences, Ufa, e-mail: s_michurin@mail.ru

The main part of copper-pyrite ores reserves of Russia is concentrated on the fields of South Ural where the technogenic fields are widespread. These technogenic fields consist of mining, concentrating, metallurgical and other productions waste suitable for industrial use by quantity and quality. Results of the analysis of the chemical composition and mineral content in the ash-slag mixtures of copper smelting plant and dumps and tailings of Uchalinskiy, Gaisky and Buribaevsky Ore Mining and Processing Plants of the South Ural have shown that tails contains 0,05–0,17% copper, zinc – 0,05–0,37%. The amount of pyrite converted to elemental sulfur is 4–40%. At the same time the highest content of zinc 0,3–0,37% of dumps and tailings of Uchalinskiy mining and processing plant are comparable with those in the extracted ores. According to atomic absorption analysis results 0,8–1,2 g / t of gold contented in pyrite concentrate extracted from samples of tailings and dumps of Gaisky mining and processing plant. Sulfuric acid waste water is generated as a result of the natural geochemical processes in the area of mining and processing plants. Results of the analysis of water samples from the old quarry and soil in the area of Kul-Yurt-Tau copper-pyrite deposit showed that the dry residue after evaporation of the water contains very high concentrations of S, Fe, Co, Cu, Zn, Pb, and others. Increased levels of the same elements, indicating heavy contamination of land and water in the area of that field, has been established in the soil samples.

Keywords: waste of mining and processing plants, technogenic raw materials, recycling, ecological safety

Вопросы экологии, ресурсосбережения и энергосбережения в настоящее время выходят на первый план. Идеология безграничного технического прогресса уступает место концепции устойчивого развития, учитывающей интересы не только нынешнего, но и будущих поколений. Одно из направлений реализации этой концепции – использование (переработка) отходов производства и потребления, накапливающихся в отвалах и на полигонах и представляющих собой техногенное сырье.

Проблема образования, накопления, хранения и утилизации отходов является для России крайне острой и затрагивает практически все ее регионы. К настоящему времени количество не утилизируемых отходов по стране оценивается приблизительно в 82 млрд тонн. При этом если в Европе перерабатывается более 50% отходов, то в России средний уровень вторичного использования промышленных отходов составляет 35%, а твердых бытовых – не более 4%. Тяжелыми металлами, нефтепродуктами, пестицидами загрязнено более 75 млн

гектаров земли. Скорость прироста образования отходов ежегодно увеличивается, и за последние несколько лет составила 15–16%. Основными источниками отходов по-прежнему остаются предприятия топливно-энергетического комплекса, горнорудной, лесной и деревообрабатывающей промышленности, жилищно-коммунального и сельского хозяйства. Из огромного количества минерального сырья, извлекаемого из природной среды для целей производства, в конечный продукт превращается лишь 1,5–2,0%. Основная же его масса переходит в промышленные отходы. Так, во многих регионах страны накоплены огромные запасы шахтных пород, золошлаковых смесей, других отходов горнорудной, угледобывающей и металлургической отраслей [12].

Многие отвалы по объемам складированных пород, их составу, свойствам и пригодности для получения полезной продукции представляют собой техногенные месторождения полезных ископаемых. При значительных объемах техногенных скоплений уровень их утилизации остается невысоким. В хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов складированы до сотен и десятков тысяч тонн тех руд, процентное содержание добываемых элементов в которых ниже промышленного. Концентрация рудных и примесных элементов зачастую превышает их содержание в природных месторождениях. Измельченный и технологически переработанный материал активно преобразуется при окислении кислородом воздуха и воды, в результате чего увеличивается подвижность химических элементов, в том числе тяжелых металлов, и их миграция с водными и воздушными потоками на десятки километров от хранилища [7, 10]. Как следствие, в районе складированных отходов образуются зоны геохимических аномалий, где регистрируются превышения содержания элементов над фоновыми и предельно допустимыми значениями.

В настоящей статье приводится анализ химического состава и содержания полезных компонентов в золошлаковых смесях медеплавильного завода и отвалов и хвостохранилищ некоторых горно-обогатительных комбинатов (ГОКов) Южного Урала. Кроме того, предпринимается попытка показать степень загрязнения почвы и воды на примере отработанного медно колчеданного месторождения. Цель работы – показать остроту проблемы и затронутых выше вопросов экологии и ресурсосбережения для южноуральского региона.

Для выполнения поставленной задачи нами отобраны и проанализированы пробы шлака в районе старого Сибайского медеплавильного завода, образцы из отвалов и хвостохранилищ Учалинского, Гайского и Бурибаевского ГОКов и пробы почвы и воды, взятых в районе отработанного медно колчеданного месторождения Куль-Юрт-Тау. Содержание породообразующих элементов в пробах, а также содержание редких элементов определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре VRA-30 (фирма «Карл Цейсс», г. Йена, Германия) в ИГ УНЦ РАН (г. Уфа) с использованием рентгеновских трубок с Cr и Rh-анодами (30–40 кВ, 30–40 мА). Истертые пробы весом 5 г со связующим (5 капель ПВС-8) прессовались при давлении 25–27 т на подложке из борной кислоты. Предел обнаружения при измерении SiO_2 , Al_2O_3 , MgO составлял 0,1%; TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , K_2O , P_2O_5 , $\text{S}_{\text{общ}}$ – 0,01%; Na_2O – 0,5%; Sc, Nb – 0,0005%; Cl, V, Co, Cr, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Pb – 0,001%.

Значительные запасы меди – почти 20 млн т – заключены в многочисленных месторождениях Южного и Среднего Урала, большая часть которых относится к медно-колчеданному типу [6]. При этом за последние 50 лет содержание основных ценных компонентов в добываемой руде на медно-колчеданных месторождениях Южного Урала значительно снизилось. Содержание меди снизилось в 2,6, а цинка, в 3,1 раза. В настоящее время содержание меди в добываемых рудах колеблется на уровне 1,5–1,8%, цинка – 0,5–0,7% [11]. Доля труднообогатимых руд возросла с 15 до 40% общей массы перерабатываемого сырья, и эта картина является типичной для горнодобывающих предприятий, осуществляющих разработку месторождений многокомпонентных руд.

При этом в Уральском регионе широко распространены техногенные месторождения, представляющие собой отходы горного, обогатительного, металлургического и других производств и пригодные по количеству и качеству для промышленного использования [3, 9]. Например, пиритные концентраты и огарки представляют собой ценные виды техногенных минерально-химических ресурсов, складированных горно-обогатительными комбинатами при обогащении сульфидного медно- и свинцово-цинкового сырья. Оба вида ресурсов обогащены железом и серой, цветными (Cu, Zn, Pb, Co, Sb и др.), благородными (Au, Ag) и рассеянными редкими металлами (Se,

Te, Bi, Cd, Tl и др.). Меднорудными ГОКаи Урала в хвостах обогащения уже накоплено 50 млн тонн пирита [5]. При этом содержание пирита в рудах – 60–80%, в хвостах – 90–95%. Пиритные огарки как отходы бывших сернокислотных производств в настоящее время сосредоточены в четырех наиболее крупных хранилищах объемом более 1 млн т каждое: ОАО «Аммофос» (г. Череповец) – 12 млн т, Мелеузский завод минеральных удобрений – 2,5 млн т, разведанное Кировоградское месторождение – 7 млн т, ОАО «ППГХО» (г. Краснокаменск) – 4,5 млн т, то есть в сумме – 26 млн т. Потребителем пиритных огарков в настоящее время является только цементная промышленность, где железо пирита используется для формирования

вязущего алюмоферрита кальция. Задача использования пиритного сырья в качестве комплексного источника металлопродукции поставлена с конца 1930-х гг. прошлого столетия. Согласно исследованиям [5, 8], пиритные огарки содержат 1,1–2,1 г/т золота, 20–30 г/т серебра, 0,3–0,4% меди, 0,7–1,0% цинка и 40–50% железа, а с их поставками на цементные заводы ежегодно утрачивается 0,5 т золота. В частности, за 50 лет на новороссийские цементные заводы в составе пиритных огарков отправлено до 10 т золота [8]. В целом по данным [14] потери золота при обогащении колчеданных руд России составляют 50–60%, при этом значительная часть потерь золота приходится на пирит, содержащий золото.

Таблица 1

Химический состав образцов из отвалов и хвостохранилищ Гайского, Бурибаевского и Учалинского ГОКов и содержание в них цветных металлов и редких элементов (в %)

КОМПОНЕНТ	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	63,04	53,28	43,33	33,28	31,58	28,29
TiO ₂	0,25	0,20	0,57	0,42	0,23	0,23
Al ₂ O ₃	9,34	8,51	15,31	11,81	8,40	5,46
Fe _{общ}	12,50	15,56	10,07	8,05	23,86	25,15
MnO	0,04	0,03	0,25	0,13	0,08	0,05
MgO	< 0,1	< 0,1	3,84	4,93	6,36	6,39
CaO	1,72	1,85	0,25	0,27	3,42	2,76
Na ₂ O	< 0,5	< 0,5	1,92	1,84	–	–
K ₂ O	0,64	0,49	1,65	0,94	0,61	0,49
P ₂ O ₅	0,06	0,05	0,05	0,05	0,14	0,11
S _{общ}	13,36	20,70	1,79	6,33	18,08	18,87
Cl	–	–	0,0036	0,046	–	–
ППП	–	–	15,10	27,45	–	–
Sc	0,0011	0,0013	0,0025	0,0017	0,0013	0,0006
V	0,0074	0,0074	0,0282	0,0172	0,0081	0,0064
Cr	0,0023	0,0031	–	–	0,0015	0,0007
Co	0,0044	0,0058	0,0042	0,0047	0,0030	0,0027
Ni	0,0018	< 0,001	0,0034	0,0039	0,0105	0,00104
Cu	0,1563	0,1664	0,0515	0,0689	0,1551	0,0930
Zn	0,0978	0,2163	0,0325	0,0471	0,3664	0,3020
Rb	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	–	–
Sr	0,0028	0,0019	< 0,001	0,0023	0,0143	0,0104
Y	0,0010	0,0009	0,0008	0,0021	0,0010	< 0,001
Zr	0,0027	0,0018	0,0038	0,0027	0,0043	0,0033
Nb	0,0007	0,0006	0,0007	0,0006	< 0,0005	< 0,0005
Ba	0,1589	0,1382	0,0174	0,0101	0,0236	0,0279
Pb	0,0052	0,0035	< 0,001	0,0013	–	–

Примечание. 1–2 – отвалы Гайского ГОКа; 3–4 – отвалы Бурибаевского ГОКа. 5–6 – отвалы Учалинского ГОКа. Прочерк – нет данных.

Отходы горно-обогатительных предприятий (так называемые «хвосты») содержат в меньших концентрациях те же полезные элементы, что и исходная руда. В проанализированных нами образцах отвалов и хвостохранилищ Гайского, Бурибаевского и Учалинского ГОКов установлено содержание Cu на уровне 0,05–0,17%, Zn – 0,05–0,37% (табл. 1). Расчетное по $S_{\text{общ}}$ содержание в них пирита составляет 4–40%. При этом наибольшие содержания цинка 0,3–0,37% из отвалов и хвостохранилищ Учалинского ГОКа сравнимы с таковыми в добываемых рудах. Как отмечено выше, на сегодняшний день доля цинка в них составляет 0,5–0,7% [11]. Кроме того, следует отметить, что по данным атомно-абсорбционного анализа, выполненного в ИГ УНЦ РАН на спектрофотометре Спектр-5 (аналитик Н.Г. Христофорова) в пиритном концентрате, выделенного из образцов отвалов и хвостохранилищ Гайского ГОКа, нами установлены содержания золота на уровне 0,8–1,2 г/т. Это хорошо согласуется с проведенными ранее исследованиями. Как установлено в работах Е.Л. Чантурия [13 и др.], в руде Гайского месторождения присутствуют различные генерации пирита, отличающиеся габитусом и разным содержанием золота от < 0,5 до более 9 г/т и других примесей.

По мере совершенствования технологий обогащения эти отходы могут подвергаться вторичной переработке с выделением полезных рудных элементов, а оставшаяся порода может использоваться для производства строительных материалов либо возвращаться в места добычи руды.

Полученные нами результаты согласуются с литературными данными, по которым в хвостах обогатительных фабрик Урала содержится 0,3–0,4% цинка, 0,2–0,3% меди, 20–35% серы, более 35% железа [9]. Количество образующихся хвостов в результате обогатительного производства ежегодно составляет 5–7 млн т. Суммарная ценность металлов, накопленных в горнопромышленных отходах России и извлекаемых технологически, по оценкам специалистов, в 4 раза превышает стоимость известных запасов их в недрах, которые пока не используются. По общим запасам хвостохранилища уральских предприятий существенно превосходят многие месторождения [9]. Кроме того, использование (в промышленных масштабах) отходов добычи и переработки полезных ископаемых обеспечит экологическую реабилитацию территорий, подверженных негативному воздействию объектов хозяйственной деятельности.

Техногенное сырье – конкурентоспособный, перспективный минеральный ресурс, использование которого по инновационным технологиям обеспечивает не только значительный технико-экономический эффект, но и достигаемый попутно экологический эффект как естественное следствие нового уровня требований современного производства [3, 9, 11]. При этом следует отметить, что в настоящее время в области переработки отходов горно-обогатительных предприятий ведутся исследования по созданию новых технологий извлечения ценных компонентов из отходов переработки руд, комбинированию физико-химических способов обогащения (флотация, электрохимия и т.д.) с химико-металлургическими методами (пиро- и гидрометаллургия, автоклавное выщелачивание, биологическое окисление) [1, 2, 4, 11, 13, 14].

Таблица 2

Химический состав шлаков старого Сибайского медеплавильного завода и содержание в них цветных металлов и редких элементов (в%)

КОМПОНЕНТ	1	2	3	4
SiO ₂	28,54	27,78	25,93	26,61
TiO ₂	0,10	0,09	0,09	0,09
Al ₂ O ₃	2,08	1,93	1,71	1,76
Fe ₂ O ₃ _{общ}	44,49	44,06	44,38	43,92
MnO	0,05	0,05	0,03	0,05
MgO	0,49	0,21	0,51	0,88
CaO	5,62	5,61	5,54	5,54
K ₂ O	0,35	0,31	0,29	0,30
P ₂ O ₅	0,07	0,07	0,09	0,07
S _{общ}	3,00	2,97	2,94	2,83
Zn	2,062	1,932	2,257	2,120
Cu	0,178	0,160	0,142	0,162
Ni	0,0013	0,0015	0,0022	0,0020
Sc	0,0015	0,0012	0,0015	0,0016
Pb	0,0050	0,0039	0,0023	0,0011

В качестве техногенного сырья, из которого могут быть получены в промышленных масштабах полезные продукты, могут рассматриваться следующие виды промышленных и бытовых отходов: отходы добычи и сжигания углей – шахтные отвалы и золошлаковые отходы; отходы горно-обогатительных предприятий; металлургические шлаки; нефтесодержащие отходы и буровые шламы; попутный нефтяной газ; промывные и сточные воды предприятий; твердые бытовые отходы городов

и агломераций. Так, в составе металлургических шлаков старого Сибайского медеплавильного завода нами установлены повышенные концентрации Cu на уровне 0,14–0,18% и очень высокие «рудные» содержания Zn, составляющие 1,9–2,3% (табл. 2).

Таблица 3

Химический состав почвы и сухого остатка воды в районе отработанного медно колчеданного месторождения Куль-Юрт-Тау

КОМПОНЕНТ	1	2	3
SiO ₂	53,11	38,34	0,82
TiO ₂	0,48	0,51	0,06
Al ₂ O ₃	11,42	10,26	1,74
Fe _{общ}	6,08	8,87	10,96
MnO	0,03	0,03	0,06
MgO	1,14	1,13	1,17
CaO	1,36	0,59	0,21
Na ₂ O	1,78	2,12	0,61
K ₂ O	1,22	1,21	< 0,01
P ₂ O ₅	0,13	0,12	0,16
S _{общ}	3,17	5,06	14,29
Cl	0,0074	0,0050	< 0,001
ППП	16,07	27,72	65,77
Sc	0,0013	0,0009	0,0007
V	0,0071	< 0,001	0,0049
Co	0,0015	0,0049	0,0133
Ni	0,0036	0,0015	0,0042
Cu	0,0175	0,0191	0,0234
Zn	0,0044	0,0040	0,0083
Rb	0,0052	0,0043	< 0,001
Sr	0,0145	0,0157	0,0024
Y	0,0010	0,0014	0,0011
Zr	0,0091	0,0092	< 0,001
Nb	0,0010	0,0008	0,0007
Ba	0,0205	0,0284	< 0,01
Pb	0,0030	0,0016	0,0012

Примечание. 1–2 – почва; 3 – сухой остаток после выпаривания воды. Прочерк – нет данных.

В результате природных геохимических процессов на месторождениях руд цветных металлов и функционирования горно-обогатительных и металлургических предприятий, в частности процессов бактериального и автоклавного выщелачивания, гальванических и травильных производств, образуются сернокислые сточные воды (ССВ), содержащие ионы металлов [7, 10]. Природные и техногенные ССВ, содержащие

токсичные ионы металлов, образуют озера, пруды рядом с месторождениями, отвалами, хвостохранилищами и предприятиями, поступают в водные источники и загрязняют гидросферу и литосферу.

Нами проанализированы образцы воды из старого карьера и почвы в районе медно-колчеданного месторождения Куль-Юрт-Тау. Анализировался сухой остаток после выпаривания воды, в котором установлены очень высокие содержания S, Fe, Co, Cu, Zn, Pb и др. (табл. 3). В образцах почвы зафиксированы повышенные концентрации тех же элементов, свидетельствующие о сильном загрязнении земли и воды в районе этого месторождения.

Для нейтрализации ССВ требуется большое количество химических реагентов, чаще применяется известь, при этом образуется значительный объем осадка, из которых металлы не извлекаются, при разложении осадка происходит также загрязнение окружающей среды. Зоны дистанционного техногенного поражения, создающиеся вокруг техногенных массивов, в десятки и сотни раз превышают площади самих предприятий [7, 10]. Отходы оказывают отрицательное воздействие на водный и воздушный бассейны, землю, недра, растительный и животный мир. Вблизи отвалов и хвостохранилищ ухудшается жизнь людей. Большинство рудных элементов токсичны и вызывают у людей тяжелые онкологические, аллергические заболевания, болезни сердца, желудка, печени, нервной системы.

Таким образом, проведенное изучение показывает, что отвалы и хвостохранилища меднорудных ГОКов и шлаки старых медеплавильных заводов Южного Урала содержат повышенные концентрации золота, меди и цинка. Содержания последнего металла сравнимы с его процентным содержанием в добываемых в настоящее время рудах. С учетом того, что сегодня эксплуатируются глубокозалегающие месторождения меди и цинка с высоким уровнем экономических затрат переработка старых отходов горно-рудных комбинатов может быть решением этой проблемы. Их использование приобретает дополнительную актуальность в связи с очевидной необходимостью снижения издержек производства, обусловленных залеганием руд на глубинах до 1–1,5 км. При этом должна учитываться ведущая роль не только золота в извлекаемой ценности пирита как минерально-химического сырья, но и содержащихся в нем

наиболее ценных рассеянных редких металлов. С точки зрения экологической безопасности следует отметить повышенные концентрации S, Fe, Co, Cu, Zn в земле и воде в районе старых отработанных месторождений, свидетельствующие о сильном загрязнении гидросферы и литосферы.

Список литературы

1. Агафонова Г.С., Бочаров В.А., Пуговкина В.И., Лапшина Г.А., Серебрянников Б.Л., Карбовская А.В., Морозов Б.А. Способ флотации сульфидных медно-цинковых руд, содержащих благородные металлы // Патент России № 2060056. 1996.
2. Воробьев С.А. Исследование закономерностей изменения электрофизических свойств пиритов различного генезиса для оптимизации условий сульфидной флотации: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Москва, 2009. – 17 с.
3. Белан Л.Н., Никонов В.Н. Геоэкологическая и промышленная характеристика хвостохранилища Семеновской золотоизвлекательной фабрики // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала, и сопредельных территорий: материалы X Межрегиональной научно-практической конф. (Уфа, 17–19 мая 2016 г.). – Уфа, 2016. – С. 208–211.
4. Бочаров В.А., Чантурия Е.Л., Игнаткина В.А. Особенности комплексной переработки сульфидных медно-цинковых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. URL: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-kompleksnoy-pererabotki-sulfidnyh-medno-tsinkovyh-rud> (дата обращения 12.12.2016).
5. Вдовина О.К., Лаврусевич А.А., Мелентьев Г.Б., Ефграфова И.М., Наумов К.А. Химический состав фракций обломочного материала горнопородных отвалов и хвостохранилищ как основа оценки геоэкологической опасности районов деятельности горнорудных предприятий // Вестник МГСУ. – 2014. – № 2. – С. 152–161.
6. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2014 г. // URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1257> (дата обращения 25.11.2016).
7. Елохина С.Н., Кононученко А.И. Геохимические аспекты формирования рудничного стока при «мокрой» ликвидации шахтных полей на колчеданных месторождениях Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала, и сопредельных территорий: материалы X Межрегиональной научно-практической конференции (Уфа, 13–15 мая 2014 г.). – Уфа, 2014. – С. 225–227.
8. Заболоцкий А.И. Практика и перспектива извлечения металлов из отходов сернокислотных производств – пиритных огарков // Проблемы рационального использования отходов горнодобывающих производств: материалы Всерос. конф. (Москва, 25–26 апреля 2013 г.). – Москва, 2013. – С. 424–426.
9. Макаров А.Б. Техногенные месторождения минерального сырья // Соровский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6, № 8. – С. 76–80.
10. Парфенова Л.П. Геоэкологические проблемы эксплуатации хвостохранилищ меднорудных обогатительных фабрик Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала, и сопредельных территорий: материалы X Межрегиональной научно-практической конф. (Уфа, 13–15 мая 2014 г.). – Уфа, 2014. – С. 231–233.
11. Пешков А.М. Обоснование требований к качеству руд и техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений Урала: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 2014. – 20 с.
12. Утилизация отходов – проблемы, пути, решения. Аналитический обзор ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2015. URL: http://www.extech.ru/files/anr_2015/anr_5.pdf (дата обращения 14.12.2016).
13. Чантурия Е.Л. Развитие теории и методов модификации технологических свойств минералов в разделительных процессах обогащения труднообогатимых руд цветных и редких металлов: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Москва, 2006. – 47 с.
14. Чантурия Е.Л., Вишкова А.А., Лапшина Г.А., Амплиева Е.Е. К вопросу о взаимосвязи электрохимических и флотационных свойств пирита золотосодержащих колчеданных руд с его составом и внутренней структурой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – Т. 14, № 12. – С. 215–228.