ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(11-1):75-84
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 669.53 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-75-84

ИЗВЛЕЧЕНИЕ FE, MN, NI, CO, CU, AL СУЛЬФАТИЗАЦИЕЙ И ГИДРОХЛОРИРОВАНИЕМ ИЗ КЕКА, ПОЛУЧЕННОГО ПОСЛЕ СОДОВОГО СПЕКАНИЯ И ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ВОЛЬФРАМОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Л.А. Воропанова[1], Ю.В. Дмитрак[1], А.С. Выскребенец[1], Ф.А. Гагиева[1], Н.Б. Кокоева[1]

[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия

Аннотация: Создание инновационных зон по разработке и производству экологически чистых технологий, а также способов их использования, дальнейшие исследования по извлечению цветных металлов из отходов горно-перерабатывающего и металлургического производства остаются актуальными. Целью данного исследования является извлечение в раствор Fe, Mn, Cu, Ni, Co из кека, полученного после содового спекания и выщелачивания вольфрамового концентрата, и сохранение в кеке после выщелачивания Mo, W, Nb, Ta. В составе кека имеются структуры (якобсит, магнетит, гётит и браунит), обладающие магнитными свойствами, однако имеет место такое взаимное прорастание железных и марганцевых фаз, что магнитное обогащение позволяет получать низкокачественные марганцевые и железные продукты, доводку которых можно осуществить только химическими или гидрометаллургическими способами. Проба кека отличается повышенным содержанием железа, кальция, кремния и марганца. Ионы металлов извлекают из кека путем сульфатизирующего обжига, который осуществляют олеумом при Ж : Т = 1 : 1, температуре 250–300 °С и времени 4 ч с последующим гидрохлорированием сульфатного спека 2 н раствором HCl, 240 г/л NaCl и температурой 70 °С. За счёт интенсификации процесса выщелачивания разработанная технология приводит к более полному извлечению в раствор металлов из материалов, их содержащих, и может быть использована при переработке концентратов, промпродуктов и твердых отходов, содержащих металлы. Сульфатизация и гидрохлорирование позволяют перевести в раствор Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Al и Ca. Извлечение составило, % масс: Mn — 98,3; Fe — 99,15; Ni — 99,48; Co — 99,42; Cu — 98,85; Al — 99,95; Ca — 70,31; SiO2 — 5,79. Остаются в осадке и не извлекаются в раствор Mo, W, Nb, Ta. В дальнейшем осуществляют селективное извлечение Fe, Mn, Cu, Ni, Co — из раствора и Mo, W, Nb, Ta — из кека.

Ключевые слова: вольфрамовый концентрат, металлы, сульфатизирующий обжиг, гидрохлорирование, поваренная соль, соляная кислота, выщелачивание, извлечение.

Для цитирования: *Автор* Извлечение Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Al сульфатизацией и гидрохлорированием из кека, полученного после содового спекания и выщелачивания вольфрамового концентрата // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11-1. — С. 75–84. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-75-84.

© Л.А. Воропанова, Ю.В. Дмитрак, А.С. Выскребенец, Ф.А. Гагиева, Н.Б. Кокоева. 2020.

Sulfation–hydrochlorination process for selective recovery of Fe, Mn, Ni, Co, Cu and Al from tungsten concentrate sodium agglomeration and leaching cake

L.A. Voropanova[1], Yu.V. Dmitrak[1], A.S. Vyskrebenets[1], F.A. Gagieva[1], N.B. Kokoeva[1]

[1] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, Russia

Abstract: The creation of innovative zones for the development and production of environmentally friendly technologies, as well as methods for their use, further studies on the extraction of non-ferrous metals from waste from mining and metallurgical production remain relevant. The aim of this study is the use of sulfatizing roasting and hydrochlorination to more fully extract Fe, Mn, Cu, Ni, Co from the cake obtained after soda sintering and leaching of tungsten concentrate, and to save Mo, W, Nb, Ta in the cake after leaching.Metal ions are extracted from the cake by sulphating firing, which is carried out by oleum at W : T = = 1: 1, temperature = 250–300 °C and time 4 hours, followed by hydrochlorination of sulfate cake with 2 N HCl solution, 240 g / l NaCl. due to the intensification of the leaching process. The developed technology leads to a more complete extraction of metals from the materials containing them into the solution and can be used in the processing of concentrates, industrial products, and solid wastes containing metals.

Key words: tungsten concentrate, metals, sulphating firing, hydrochlorination, sodium chloride, hydrochloric acid, leaching, recovery.

For citation: Voropanova L.A., Dmitrak Yu.V., Vyskrebenets A.S., Gagieva F.A., Kokoeva N.B. Sulfation–hydrochlorination process for selective recovery of Fe, Mn, Ni, Co, Cu and Al from tungsten concentrate sodium agglomeration and leaching cake. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):75-84. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-75-84.

Введение

Основным источником техногенного воздействия на окружающую среду является деятельность предприятий перерабатывающей и горнодобывающей промышленности [1–3]. Достаточно емкой и сложной задачей является выбор оптимального, экологически безопасного технологического процесса селективного извлечения ионов тяжелых металлов.

Ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие безопасность горного производства, должны базироваться на инновационных технологиях, сочетающих функции охраны окружающей среды с её рациональным использованием и оказывающих благоприятное воздействие на окружающую среду [4–7].

Известны способы выщелачивания для извлечения металлов [8–16] при переработке концентратов, промпродуктов и твёрдых отходов. Однако дальнейшие исследования по извлечению цветных металлов из отходов горно-перерабатывающего и металлургического производства остаются актуальными.

Целью данного исследования является максимальное извлечение в раствор Fe, Mn, Cu, Ni, Co из кека, полученного после содового спекания и выщелачивания вольфрамового концентрата, и сохранение в кеке после выщелачивания Mo, W, Nb, Ta (рис. 1).

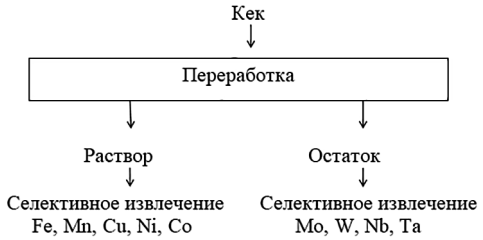

Рис. 1. Предварительная схема разрабатываемой технологии
Fig. 1. The preliminary scheme of the developed technology

Методы исследования

Аналитические исследования выполнялись в Центре коллективного пользования ИГЕМ РАН «ИГЕМ аналитика». Анализ химического состава проб и определение в них ряда микроэлементов выполнен методом рентгено-флюоресцентной спектрометрии (XRF) на спектрометре последовательного действия PW-2400 производства компании PhilipsAnalytical B.V. (Нидерланды, 1997). При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы горных пород и минерального сырья (14 ОСО, 56 ГСО). Качество результатов соответствует требованиям III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41—08—205—99. Подготовка препаратов для анализа оксидов породообразующих элементов выполнена путем плавления 0,3 г порошка пробы с 3 г тетрабората лития в индукционной печи с последующим отливом гомогенного стеклообразного диска. Подготовка препаратов для анализа микроэлементов выполнена путем прессования 1 грамма порошка пробы с полистиролом под давлением 5 т/см^2. Потери при прокаливании (LOI) определялись гравиметрическим способом. Время выдержки при температуре 950 ºС составляло 30 мин.

Фазовый состав образцов выполнен рентгенофрактометрическим методом.

В экспериментах использовали магнит марки «Спартак» ОАО «Магнит», г. Владикавказ.

Характеристика перерабатываемого кека

После разложения вольфрамовых концентратов путём спекания или сплавления с содой при температуре 800—850 ºС и последующего выщелачивания спека водой в кеке после выщелачивания остаются нерастворившиеся соединения.

После квартования химический анализ изучаемой пробы кека проведен в табл. 1.

В табл. 2 дан фазовый состав кека.

Из табл. 1 и 2 видно, что проба кека отличается повышенным содержанием железа, кальция, кремния и марганца.

Полученные результаты исследований и их обсуждение

По данным табл. 2 обращает на себя внимание тот факт, что в составе кека имеются структуры (якобсит, магнетит, гётит и браунит), обладающие магнитными свойствами. Эти фазы образуются в процессе спекания или сплавления вольфрамовых концентратов с содой при температуре 800—850 ºС.

Кек массой 100 г заливали 10 мл 0,1 н раствора HCl. Выделялись пузырьки газа CO_2 при разложении карбоната. После того как газ переставал выделяться, к пульпе добавляли воду до 100 мл, затем магнит опускали в пульпу. Магнитная фракция прилипала к магниту. Магнитную фракцию отделяли от магнита, промывали водой, сушили и взвешивали, те же действия производили и с немагнитной фракцией.Массы: магнитной фракции (МФ) — 6,7 г, немагнитной (НМФ) — 14,5 г.

Соотношение масс МФ : НМФ = 6,7 : : 14,5 = 1 : 2,16 ≈ 1 : 2.

В табл. 3 дан состав фракций, % масс.

Таблица 1
Химический состав кека
The chemical composition of the cake

Mn	Fe	Ca	Al	Ni	Co	Cu	SiO_2	W	Mo	Nb	Ta
5,2	7,0	14,67	3,1	0,075	0,022	0,17	18,3	0,3	0,002	0,16	0,13

Таблица 2
Фазовый состав кека
The phase composition of the filter cake

№ п/п	Название	Формула	Содержание, % масс
1	Кальцит	$CaCO_3$	12 – 29
2	Доломит	$CaMg(CO_3)_2$	1
3	Бернессит	$Mg_{0,29}Mn_{1,42}Mn_{0,58}O_4(H_2O)_{1,29}$	3 – 15
4	Якобсит	$MnFe_2O_4$	5 – 15
5	Магнетит	Fe_3O_4	2 – 3
6	Гётит	FeOOH	3
7	Тунгстит	$WO_3 \cdot H_2O$	0,5
8	Кварц	SiO_2	1
9	Перовскит	$CaTiO_3$	2
10	Нефелин	$NaAlSiO_4$	5
11	Структура $CaFe_2O_4$	$CaFe_2O_4$	5
12	Касситерит	SnO_2	1
13	Шанноит	Ca_2SiO_4	3
14	Монтмориллонит	$(1/2Ca,Na)_{0,7}(Al,Mg,Fe)_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4$ $4H_2O$	10
15	Иллит	$(K, H_2O)Al_2[(Al,Si)Si_3O_{10}](OH)_2$	5
16	Браунит	$(Mn,Si)Si_2O_3$	0,74
17	Рентгеноаморфная фаза		остальное

Таблица 3
Состав фракций после магнитной сепарации, % масс
Composition of fractions after magnetic separation, % by weight

Фракция	Состав, % масс							
	Mn	Fe	Ca	Al	Ni	Co	Cu	SiO_2
Исходная, *m* = 21,2 г	5,2	7,0	14,67	3,1	0,075	0,022	0,17	18,3
МФ, *m* = 6,7 г	8,5	9,41	12,75	2,43	0,14	0,036	0,18	20,23
НМФ, *m* = 14,5 г	6,0	4,95	15,29	3,41	0,03	0,016	0,11	18,00

Из данных табл. 3 следует, что имеет место такое взаимное прорастание железных и марганцевых фаз, при котором магнитное обогащение позволяет получать низкокачественные марганцевые и железные продукты, доводку которых можно осуществить только химическими или гидрометаллургическими способами.

Разработана малоотходная эффективная технология переработки цинкового кека [17], которая позволяет селективно извлечь железо, цинк, медь, свинец, золото и серебро суль-

фатизацией и выщелачиванием окисленного цинкового кека разбавленной серной кислотой, гидрохлорированием с последующей экстракцией ионов металлов порционной подачей трибутилфосфата при различных температурах, концентрациях соляной кислоты, времени экстракции, содержании в растворе 240 г/дм^3 NaCl. Эта технология была применена для переработки кека, полученного после содового спекания и выщелачивания вольфрамового концентрата с целью извлечения в раствор Fe, Mn, Cu, Ni, Co и сохранения в кеке после выщелачивания Mo, W, Nb, Ta.

На рис. 2 и 3 даны технологическая (рис. 2) и аппаратурная (рис. 3) схемы переработки кека.

В табл. 4 и 5 даны материальные балансы по извлекаемым металлам в соответствии со схемами рис. 2 и 3.

Из данных табл. 4 и 5 следует, что результаты гидрохлорирования при концентрациях 2 и 3 н раствора HCl практически не отличаются.

Сульфатизация кека олеумом (Ж : Т = 1 : 1, продолжительность 4 ч и температурой 250 — 300 °С) приводит к образованию сульфатного спека.

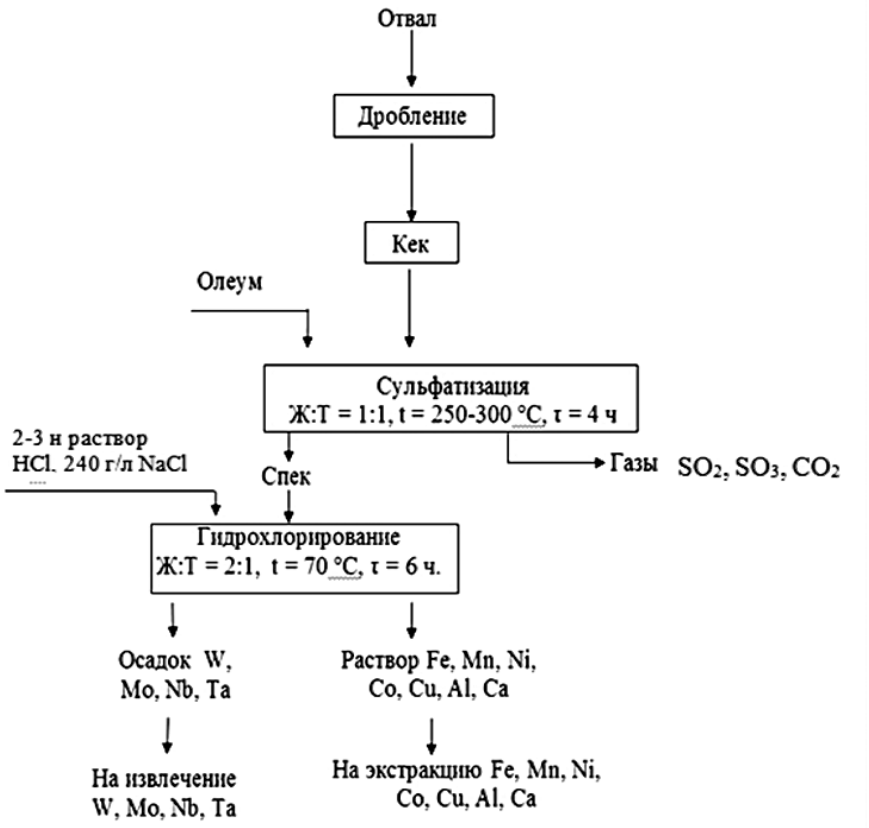

Рис. 2. Технологическая схема извлечения Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Al сульфатизацией и гидрохлорированием из кека, полученного после содового спекания и выщелачивания вольфрамового концентрата

Fig. 2. Technological scheme of extraction of Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Al by sulfatization and hydrochlorination from cake obtained after soda sintering and leaching of tungsten concentrate

Таблица 4

Масса кека 100 г, масса сульфатного спека 155,5 г.
Содержание в кеке, г: 5,2 Mn, 7,0 Fe, 0,17 Cu.
Материальный баланс по твёрдой фазе

The mass of the filter cake 100 g weight of sulphate of SPECA of 155.5 g.
Content in the cake, g: 5,2 Mn, 7,0 Fe, 0,17 Cu.
Material balance on the solid phase

Фаза	Масса, г	Состав						
		Mn	Fe	Ca	Al	Ni	Co	Cu
Кек, % масс	100	5,2	7,0	14,67	0,51	0,075	0,045	0,17
Гидрохлорирование раствором 3 н HCl								
Осадок, % масс	25,5	0,33	0,18	16,66	0,003	0,0012	0,001	0,0073
Масса компонентов в осадке, г		0,084	0,0459	4,248	0,000765	0,000306	0,000255	0,00186
Извлечение в раствор, % масс		98,38	99,34	71,04	99,85	99,59	99,43	98,91
Гидрохлорирование раствором 2 н HCl								
Осадок, % масс	26	0,34	0,23	16,75	0,001	0,0015	0,001	0,0075
Масса компонентов в осадке, г		0,0884	0,0598	4,355	0,00026	0,00039	0,00026	0,00195
Извлечение в раствор, % масс		98,3	99,15	70,31	99,95	99,48	99,42	98,85

Таблица 5

Материальный баланс по раствору

Material balance by solution

Гидрохлорирование	Объём раствора, мл	Концентрация раствора, г/л			Масса в растворе, г			Извлечение, % масс		
		Mn	Fe	Cu	Mn	Fe	Cu	Mn	Fe	Cu
Раствор 3 н HCl	205	23,00	22,5	0,20	4,72	4,51	0,041	90,67	64,46	24
Раствор 2 н HCl	220	23,25	20,5	0,44	5,17	4,51	0,097	99,42	64,46	57

В процессе сульфатизации раствор серной кислоты разлагает карбонаты по реакции:

$$MeCO_3 + H_2SO_4 = MeSO_4 + H_2O + CO_2$$

с образованием растворимых сульфатов меди, кобальта и никеля, а также нерастворимого сульфата кальция. Выделяющиеся газы оксидов серы и углерода направляются в сернокислотное производство.

При гидрохлорировании пульпы в растворе поваренной соли и соляной кислоты (2 н HCl, 240 г/дм^3 NaCl, Ж : Т = = 2 : 1, продолжительность 6 ч, температура 70 °С) образуются растворимые в воде координационные соединения, содержащие комплексные анионы:

$$[FeCl_4]^-,\ [FeCl_6]^{3-},\ [Fe_2Cl_9]^{3-},$$
$$[Fe(H_2O)Cl_5]^{2-},\ [CuCl_3]^-,\ [CuCl]^{2-}$$
и другие.

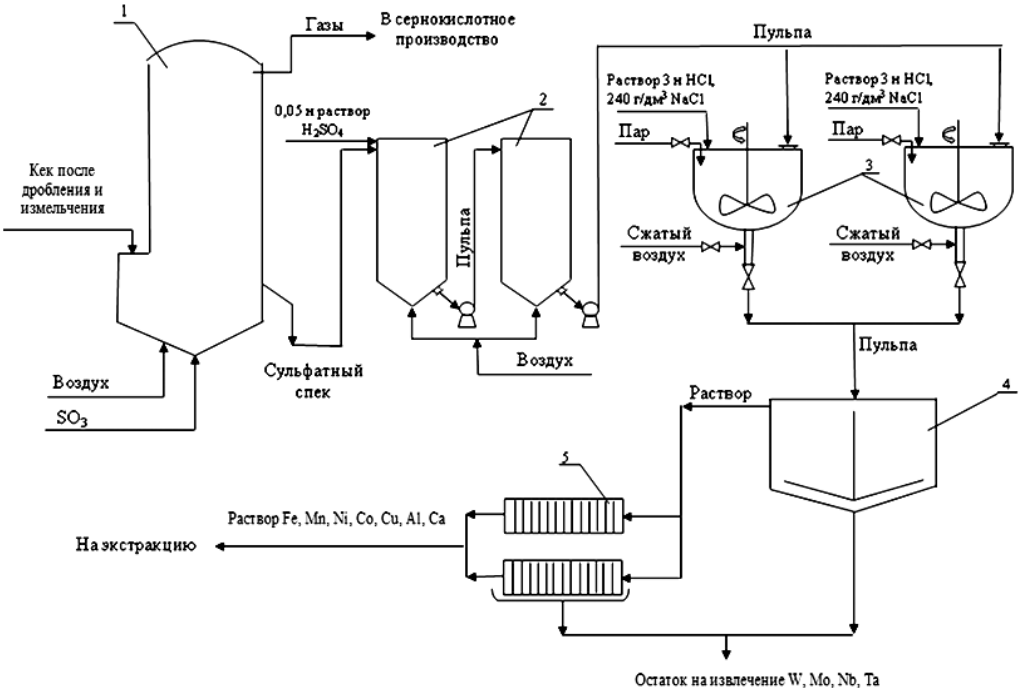

Рис. 3. Аппаратурная схема переработки отвала в соответствии с технологической схемой рис. 2: 1 — печь КС, *2* — пачук, *3* — чан с механическим перемешиванием, *4* — отстойник, *5* — фильтр-пресс

Fig. 3. Hardware scheme for processing the dump in accordance with the technological scheme Fig. 2: 1 — KS oven, *2* — pachuk, *3* — VAT with mechanical mixing, *4* — sump, *5* — filter press

Сульфатизация и гидрохлорирование позволяют перевести в раствор Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Al и Ca. Извлечение составило, % масс: Mn — 98,3; Fe — 99,15; Ni — 99,48; Co — 99,42; Cu — 98,85; Al — 99,95; Ca — 70,31; SiO_2 — 5,79.

Остаются в осадке и не извлекаются в раствор Mo, W, Nb, Ta.

В дальнейшем можно осуществлять селективное извлечение Fe, Mn, Cu, Ni, Co — из раствора и Mo, W, Nb, Ta — из кека.

Выводы

1. Разработан способ глубокой, экологически безопасной и энергоэффективной переработки рудного сырья и техногенных отходов горно-перерабатывающего комплекса, обеспечивающий высокий уровень утилизации отходов и выпуском товарной продукции.

2. Способ извлечения ионов металлов из кека, полученного после содового спекания и выщелачивания вольфрамового концентрата, заключается в том, что проводят сульфатизирующий обжиг кека олеумом при Ж : Т = 1 : 1, температуре 250—300 °С и времени 4 ч с последующим гидрохлорированием сульфатного спека 2 н раствором HCl, 240 г/л NaCl и температурой 70 °С. Сульфатизирующий обжиг кека олеумом с последующим гидрохлорированием позволяет перевести в раствор Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Ca и Al. Извлечение составило, % масс: Mn — 98,3; Fe — 99,15; Ni — 99,48; Co — 99,42; Cu — 98,85; Al — 99,95; Ca — 70,31; SiO_2 — 5,79.

3. Остаются в осадке и не извлекаются в раствор Mo, W, Nb, Ta.

4. В дальнейшем осуществляют селективное извлечение Fe, Mn, Cu, Ni, Co — из раствора и Mo, W, Nb, Ta — из кека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хузмиев И.К.*, *Вагин В.С.*, *Караев Ю.И.*, *Гассиева О.И. Козырев Р.Р.*, *Москаленко И.В.* Инновационная зона в РСО-А «Кремниевая долина Тагаурия» // Устойчивое развитие горных территорий. — 2009. — Т. 1, — № 2. — С. 67—74.

2. *Винокуров С.Ф., Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Сычкова В.А., Шевченко А.В., Лексиу А.Б., Дударов З.И.* Геохимические особенности утилизации захоронённых отходов Тырныаузского вольфрамо — молибденового комбината методом кислого выщелачивания // Доклады Академии Наук. — 2016. — Т. 470. — № 4. — С. 344—347.

3. *Мощенко Д.И.*, *Кузина А.А.*, *Колесников С.И.* Сравнительная оценка устойчивости чернозёмов центрального Предкавказья и Кавказа к загрязнению свинцом, хромом, медью, никелем и нефтью // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 76—88.

4. *Голик В.И.*, *Цидаев Б.С.*, *Качурин Н.М.*, *Вернигор В.В.* Перспективы утилизации хвостов обогощения садонских руд // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. — № 1. — С. 128—137.

5. *Jarvie-Eggart M.E.* Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World // Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. — 2015. — 804 p.

6. *Sinclair L.*, *Thompson J.* In situ leaching of copper: Challenges and future pro spects // Hydrometallurgy. — 2015. — T.157, — P. 306—324.

7. *Zhou C., Gong Z., Hu J., Cao A., Liang H.* A cost-benefi t analysis of landfill mining and material recycling in China // Waste Management. 2015. Vol. 35. P. 191—198.

8. *Swain N.*, *Mishra S.*, *Acharya M.R.* Hydrometallurgical route for recovery and separation of samarium (III) and cobalt (II) from simulated waste solution using tri-n-octyl phosphine oxide — A novel pathway for synthesis of samarium and cobalt oxides nanoparticles. Journal of Alloys and Compounds. — 2020, Vol. 815, — P. 152423—15427.

9. *Изотов А.Д.*, *Горичев И.Г.*, *Годунов Е.Б.* Влияние добавок этандиовой кислоты на процесс растворения оксидов марганца в сернокислых растворах // Журнал неорганической химии . — Выпуск № 2. — 2018. — Т. 63. — С. 296—300.

10. *Теляков А.Н.*, *Петухов А.А.*, *Дарьин А.А.*, *Теляков Н.М.* Селективное осаждение марганца при переработке фосфорсодержащих железомарганцевых конкреций/ // Металлург. — 2015. — № 6. — С. 29—32.

11. *Мартиросян М.В.* Применение сульфатизирующего обжига в процессах комплексного извлечения ценных компонентов из полиметаллического концентрата // Ученые записки Ереванского государственного университета. Химия и биология. — 2010. — N2. 2016. С. 19—23.

12. *Луцкий Д.С.* Применение растительных масел в качестве растворителей для экстрагентов, применяемых при извлечении редкоземельных элементов из водно-солевых систем. Д.С. Луцкий, Г.А. Штырц. European Research: Innovation in Science, Education and Technology // European research. — 2016. — № 2 (13). — С. 35—39.

13. *Щёлкин А.А.*, *Чекушина Е.В.*, *Чекушина Т.В.* Эксперимениальные исследования по извлечению марганца из марганецсодержащих шламов обогатительной фабрики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. — 2009. — С. 60—65.

14. *Кондратьев Ю.И.*, *Выскребенец А.С.*, *Бетрозов З.С.*, *Дзеранова К.Б.* Снижение энергозатрат на подземное электрохимическое выщелачивание металлов из руд // Устойчивое развитие горных территорий. — 2017. – Т. 9. –№ 4. – С. 419—426.

15. *Копкова Е.К.*, *Тюремнов А.В.*, *Громов П.Б.*, *Нерадовский Ю.И.*, *Семушин В.В.* Гидрохлоридная экстракционная переработка цинкового клинкера // Химическая технология. — 2015. — № 3. — С. 168—175.

16. *Солоденко А.А.*, *Васильев В.В.*, *Солоденко А.Б.*, *Серебряков М.А.* Исследование аммиачного автоклавного выщелачивания применительно к некондиционным медным концентратам Жезказганского месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. — 2018. – Т. 10. –№ 2. – С. 270—280.

17. *Воропанова Л.А.*, *Кокоева Н.Б.* Разработка технологической схемы селективного извлечения Fe, Zn, Cu, Pb, Au и Ag из цинкового кека экстракцией // Цветные металлы. — 2016. — № 9. С. 41—44. ГИАБ

REFERENCES

1. Huzmiev I.K., Vagin V.S., Karaev Yu.I., Gassieva O.I. Kozyrev R.R., Moskalenko I.V. Innovation zone in North Ossetia-Alania “Tagauria Silicon Valley”. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2009. T. 1, no. 2. pp. 67—74. [In Russ]

2. Vinokurov S.F., Gurbanov A.G., Bogatikov O.A., Sychkova V.A., Shevchenko A.V., Leksiy A.B., Dudarov Z.I. Geochemical features of the disposal of buried waste from the Tyrnyauz Tungsten. Molybdenum Combine by acid leaching. *Doklady Akademii Nauk*. 2016. T. 470. no. 4. pp. 344—347. [In Russ]

3. Moshchenko D.I., Kuzina A.A., Kolesnikov S.I. A comparative assessment of the resistance of chernozems of the central Ciscaucasia and the Caucasus to pollution by swits, chrome, copper, nickel and oil. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020. T. 12. no. 1. pp. 76—88. [In Russ]

4. Golik V.I., Cidaev B.S., Kachurin N.M., Vernigor V.V. Prospects for the disposal of tailings for the enrichment of Sadon ores. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020. T. 12. no. 1. pp. 128—137. [In Russ]

5. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 2015. 804 p.

6. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future pro spects. Hydrometallurgy. 2015. T.157, pp. 306—324.

7. Zhou C., Gong Z., Hu J., Cao A., Liang H. A cost-benefi t analysis of landfill mining and material recycling in China. Waste Management. 2015. Vol. 35. pp. 191—198.

8. Swain N., Mishra S., Acharya M.R. Hydrometallurgical route for recovery and separation of samarium (III) and cobalt (II) from simulated waste solution using tri-n-octyl phosphine oxide A novel pathway for synthesis of samarium and cobalt oxides nanoparticles. Journal of Alloys and Compounds. 2020, Vol. 815, pp. 152423—15427.

9. Izotov A.D., Gorichev I.G., Godunov E.B. nfluence of additives of ethanedioic acid on the process of dissolution of manganese oxides in sulfuric solutions. *Zhurnal neorganicheskoj himii*. Vypusk no. 2. 2018. T. 63. pp. 296—300. [In Russ]

10. Telyakov A.N., Petuhov A.A., Dar’in A.A., Telyakov N.M. Selektivnoe osazhdenie marganca pri pererabotke fosforsoderzhashchih zhelezomargancevyh konkrecij/. Metallurg. 2015. no. 6. S. 29—32. [In Russ]

11. Martirosyan M.V. The use of sulfatizing firing in the processes of complex extraction of valuable components from a polymetallic concentrate. *Uchenye zapiski Erevanskogo gosudarstvennogo universiteta. Himiya i biologiya*. 2010. no. 2. 2016. pp. 19—23. [In Russ]

12. Luckij D.S., Shtyrc G.A. The use of vegetable oils as solvents for extractants used in the extraction of rare earth elements from water-salt systems. *European Research: Innovation in Science, Education and Technology. European research*. 2016. no. 2 (13). pp. 35—39. [In Russ]

13. Shchyolkin A.A., Chekushina E.V., Chekushina T.V. Experimental studies on the extraction of manganese from manganese-containing sludge from an enrichment plant. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov*. Seriya: Inzhenernye issledovaniya. 2009. pp. 60—65. [In Russ]

14. Kondrat'ev Yu.I., Vyskrebenec A.S., Betrozov Z.S., Dzeranova K.B. Reduction of energy costs for underground electrochemical leaching of metals from ores. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. T. 9. no. 4. pp. 419—426. [In Russ]

15. Kopkova E.K., Tyuremnov A.V., Gromov P.B., Neradovskij Yu.I., Semushin V.V. Hydrochloride extraction processing of zinc clinker. *Himicheskaya tekhnologiya*. 2015. no. 3. pp. 168—175. [In Russ]

16. Solodenko A.A., Vasil'ev V.V., Solodenko A.B., Serebryakov M.A. Investigation of ammoniac autoclave leach in gas applied to substandard copper concentrates of the Zhezkazgan deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. T. 10. no. 2. pp. 270—280. [In Russ]

17. Voropanova L.A., Kokoeva N.B. Development of a technological scheme for the selective extraction of Fe, Zn, Cu, Pb, Au and Ag from zinc cake by extraction. *Cvetnye metally*. 2016. no. 9. pp. 41—44. [In Russ]

ИФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Воропанова Лидия Алексеевна[1] — докт. техн. наук, профессор;
Дмитрак Юрий Витальевич[1] — докт. техн. наук, профессор, ректор, e-mail: rector@skgmi-gtu.ru;
Выскребенец Александр Степанович[1] — докт. техн. наук, профессор, e-mail: kafedra-tmo@skgmi-gtu.ru;
Гагиева Фатима Акимовна[1] — канд. техн. наук, ст. преподаватель, e-mail: fatima.gagieva.80@mail.ru;
Кокоева Наталия Борисовна1 — канд. техн. наук, доцент, e-mail: kokoeva.natali.borisovna@yandex.ru.
[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, г. Владикавказ, Россия;
Для контактов: Воропанова Лидия Алексеевна, e-mail: lidia_metall@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Voropanova L.A.[1], Dr. Sci. (Eng.), Prof., e-mail: lidia_metall@mail.ru;
Dmitrak Yu.V.[1], Dr. Sci. (Eng.), professor, rector, e-mail: rector@skgmi-gtu.ru;
Vyskrebenets A.S.[1], Dr. Sci. (Eng.), prof., acting Vice Rector for Academic Affairs, Head Department, e-mail: kafedra-tmo@skgmi-gtu.ru;
Gagieva F.A.[1], Cand. Sci. (Eng.), Art. teacher, e-mail: fatima.gagieva.80@mail.ru;
Kokoeva N.B.[1], Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, e-mail: kokoeva.natali.borisovna@yandex.ru;
[1] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Russia, 362021, North Ossetia-Alania, Vladikavkaz.
Corresponding author: L.A. Voropanova, e-mail: info@skgmi-gtu.ru.

Получена редакцией 26.05.2020; получена после рецензии 15.07.2020; принята к печати 10.10.2020.
Received by the editors 26.05.2020; received after the review 15.07.2020; accepted for printing 10.10.2020.