ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(11-1):66-74
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 669.273 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-66-74

# СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА (III) И МАРГАНЦА (II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ И БЕДНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД

**Л.А. Воропанова[1], Ф.А. Гагиева[1], Н.Б. Кокоева[1]**

[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет), РСО-Алания, Владикавказ

***Аннотация:*** Выживание депрессивных горнодобывающих предприятий возможно за счёт повышения объемов добычи минерального сырья и использования нетрадиционных технологий при комбинировании с традиционными способами добычи руд. Описан способ селективного извлечения ионов Fe (III) и Mn (II) из водных растворов смеси их солей, при котором сначала осуществляют экстракцию ионов Fe (III), затем – реэкстракцию ионов железа из экстракта водой с осаждением из раствора оксида железа $Fe_2O_3$. Установлено, что способ обеспечивает высокую селективность процесса извлечения ионов железа и марганца из водных растворов их солей. Полученный в результате раствор хлорида аммония обезвреживается выпаркой с последующей кристаллизацией хлорида аммония в товарный продукт. Раздельное получение газообразных основного (NH3) и кислого (HCl) реагентов можно осуществить взаимодействием солей $(NH_4)_2SO_4$ и $NH_4Cl$. Разработан способ извлечения металлов в условиях замкнутого производства без выброса экологически опасных компонентов в окружающую среду.

***Ключевые слова:*** железо, марганец, трибутилфосфат, раствор, соляная кислота, поваренная соль, экстракция, осаждение.

***Для цитирования:*** *Воропанова Л.А., Гагиева Ф.А., Кокоева Н.Б.* Селективное извлечение железа (III) и марганца (II) из водных растворов при переработке железо-марганцевых конкреций и бедных марганцевых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 11-1. – С. 66–74. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-66-74.

## Selective recovery of iron (III) and manganese (II) from water solutions in processing of iron–manganese concretions and poor-grade manganese ore

**L.A. Voropanova[1], F.A. Gagieva[1], N.B. Kokoeva[1]**

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

***Abstract:*** The survival capabilities of depressed mining enterprises can be improved by increasing the production of minerals through the use of unconventional technologies when combined with traditional methods of ore mining.To selectively extract Fe (III) and Mn (II) ions from aqueous solutions of a mixture of their salts, the Fe (III) ions are first extracted with tributyl phosphate from an aqueous solution with a concentration of 3NHCl, 240 NaCl g/dm3 and a temperature of 60 °C with a portioned introduction of TBP at the minimum contact time between the solution

© L.A. Voropanova, F.A. Gagieva, N.B. Kokoeva. 2020.

and the extractant, then iron ions are reextracted from the extract with water with precipitation of Fe2O3 oxide from the solution and precipitation of manganese from raffinate with ammonia by blowing the solution with air at pH = 8 and a temperature of 60 °C. The method provides high selectivity for the extraction of iron and manganese ions from aqueous solutions of their salts. The result ingsolutio n of ammon ium chloride is rendered harmless by evapor ation, fol lowed by c rystallizat ion of ammo niumchlor ide into a co mmercial p roduct. Sep arate product ion of gaseous b asic (NH3) and acid ic (HCl) re agents can be obt ained by t he interact ion of salts ( $NH_4)_2SO_4$ and $NH_4Cl$. The process o f metal ext ractionoccu rs in closed p roduction w ithout the re lease of e nvironment ally hazardous co mponentsi nto the env ironment.

***Key words:*** iron, manganese, tributyl phosphate, solution, hydrochloric acid, sodium chloride, extraction, precipitation.

***For citation:*** Voropanova L.A., Gagieva F.A., Kokoeva N.B. Selective recovery of iron (III) and manganese (II) from water solutions in processing of iron–manganese concretions and poor-grade manganese ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):66-74. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-66-74.

## Введение

Сокращение запасов руд с промышленным содержанием цветных металлов делает необходимым поиск технологий рентабельной переработки бедных забалансовых руд и отходов первичного обогащения. Реальным направлением развития является диверсификация производства путем комбинирования традиционных и нетрадиционных технологий добычи и переработки руд. Экономика горного производства может быть улучшена созданием смежных производств товарной продукции из хвостов выщелачивания руд после извлечения металлов до уровня санитарных норм [1—3].

При переработке бедных марганцевых руд и железомарганцевых конкреций актуальной задачей является селективное извлечение ионов марганца и железа из водных растворов [4—8].

Известны способы извлечения ионов Fe (III) и Mn (II) их гидролитическим осаждением [9].

Однако селективное извлечение ионов железа и цветных металлов из таких растворов осаждением затруднено. Ионы Fe (II) гидролитически осаждаются совместно с основными ионами цветных металлов, ионы Fe (III) осаждаются в более кислой области, но вместе с ними также осаждаются ионы цветных металлов и органические примеси, так как ионы Fe (III) являются коагулянтами.

Использование соляной кислоты вследствие повышенной её способности к комплексообразованию известно [10—11] в схемах, включающих сорбционно-экстракционную технологию разделения металлов.

Целью работы является определение оптимальных условий селективного извлечения ионов Fe (III) и Mn (II) из растворов смеси их солей.

## Методика эксперимента

Экстракцию осуществляли порционной подачей экстрагента [12] при перемешивании. Температура экстракции составляла 20 или 60 ºС

В качестве экстрагента использовали трибутиловый эфир фосфорной кислоты $(C_4H_9O)_3PO$ — трибутилфосфат (ТБФ), относящийся к кислородсодержащим нейтральным экстрагентам. ТБФ известен в качестве хорошего экстрагирующего реагента для ионов тяжелых металлов.

Результаты экстракции оценивали концентрацией металла в рафинате в процессе экстракции в данный

момент времени, извлечением ε, в % масс от исходного количества металла на каждой стадии экстракции, концентрацией металла в экстракте, коэффициентом распределения

$$D = C_{орг} / C_{вод} = (C_0 / C - 1)\ (V_в V_0),$$

где $C_{орг}$ и $C_{вод}$, г/дм³ — концентрации ионов в органической и водной фазах соответственно; $V_в$ и $V_о$, дм³ — объёмы водной и органической фаз при равновесии соответственно и коэффициентом разделения $\beta = D_{Fe} / D_{Mn}$.

Для приготовления растворов использовали соли $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ и $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.

## Экспериментальная часть и обсуждение

Из водного раствора $MnCl_2$ с концентрацией 8,46 г/дм³ Mn, 3н HCl, 240 NaCl г/дм³ и температурой 20 или 60 °С осуществляли экстракцию ионов Mn (II) порционным введением ТБФ.

Извлечение ионов Mn (II) в результате экстракции составило, % масс от исходного: 0,1 при 60 °С и 2,1 при 20 °С.

Таким образом, в указанных условиях, при которых экстрагируются ионы Fe (III) [13], ионы Mn (II) практически не экстрагируются.

В табл. 1 даны результаты экстракции ионов Fe (III) и Mn (II) из растворов смеси их солей при порционном использовании ТБФ при $t$ = 20 или 60 °С, $C^{HCl}$ = 3 н, $C^{NaCl}$ = 240 г/дм³. Экстракцию осуществляли в 5 стадий. На каждой стадии использовали ТБФ объемом $V_{ТБФ}$ = 0,02 дм³, О : В = 1 : 5, суммарное использование объема ТБФ составило $V_{ТБФ}$ = 0,1 дм³, ΣО : В = 1 : 1, время экстракции на каждой стадии — 10 мин.

На рис. 1 по данным таблицы даны результаты постадийной экстракции ионов железа и марганца из водного раствора их солей.

*Таблица 1*

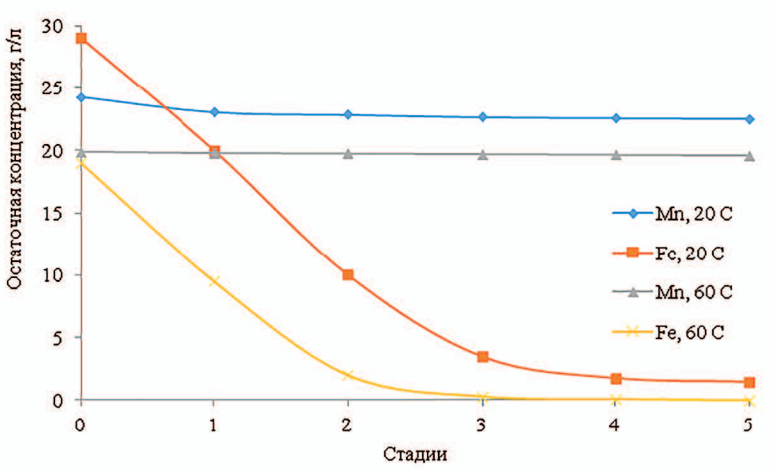
***Экстракция железа из растворов хлоридов смеси солей $MnCl_2$ и $FeCl_3$: $C^{HCl}$= 3 н, $C^{NaCl}$= 240 г/дм³, ΣO:B = 1:1, каждая стадия O:B = 1:5, ΣO:B = 1:1. Температура 20 и 60 °С***

*Table 1*

***Extraction of iron from chloride solutions of a mixture of MnCl2 and FeCl3 salts: CHCl= 3 n, Chnac l= 240 g / dm³, ΣO:B = 1:1, each stage O:B = 1:5, ΣO:B = 1:1. Temperature 20 and 60 °C***

| Стадия | Время, мин | Концентрация, г/дм³ | | | | Извлечение, % масс от исходного | | $D = C_{орг}/C_{вод}$ на каждой стадии | | $\beta_{Fe/Mn}$ на каждой стадии |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | рафинат | | экстракт | | | | | | |
| | | Mn | Fe | Mn | Fe | Mn | Fe | Mn | Fe | |
| **20 °С** | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 24,29 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 10 | 23,07 | 20 | 6,1 | 45 | 5,1 | 31,0 | 0,26 | 2,25 | 8,65 |
| 2 | 10 | 22,86 | 10 | 1,05 | 50 | 5,9 | 65,5 | 0,05 | 5 | 100 |
| 3 | 10 | 22,67 | 3,5 | 0,95 | 32,5 | 6,7 | 87,9 | 0,04 | 9,3 | 232,5 |
| 4 | 10 | 22,60 | 1,8 | 0,35 | 8,5 | 7,0 | 93,8 | 0,04 | 4,7 | 117,5 |
| 5 | 10 | 22,55 | 1,5 | 0,25 | 1,5 | 7,2 | 94,8 | 0,03 | 1 | 33,3 |
| **60 °С** | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 19,9 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 10 | 19,8 | 9,5 | 0,5 | 47,5 | 0,5 | 50,0 | 0,025 | 5 | 200 |
| 2 | 10 | 19,75 | 2,0 | 0,25 | 37,5 | 0,75 | 89,5 | 0,01 | 18,75 | 1875 |
| 3 | 10 | 19,7 | 0,3 | 0,25 | 8,5 | 1,0 | 98,4 | 0,01 | 28,3 | 2830 |
| 4 | 10 | 19,65 | 0,1 | 0,25 | 1,0 | 1,25 | 99,5 | 0,01 | 10 | 1000 |
| 5 | 10 | 19,6 | 0,01 | 0,25 | 0,45 | 1,5 | 99,9 | 0,01 | 45 | 4500 |

*а*




*б*

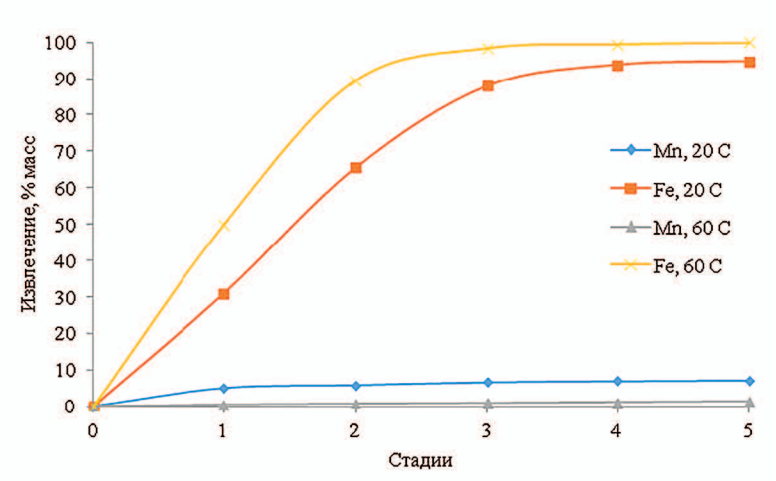



*Рис. 1. Результаты постадийной экстракции ионов железа и марганца из водного раствора:* *а* — зависимость остаточной концентрации железа и марганца от числа стадий экстракции, *б* — зависимость извлечения железа и марганца от числа стадий экстракции

*Fig. 1. Results of step-by-step extraction of iron and manganese ions from an aqueous solution:* *а* — dependence of the residual concentration of iron and manganese on the number of extraction stages, *б* — dependence of the extraction of iron and manganese on the number of extraction stages

Как следует из данных таблицы и рис. 1, извлечение марганца не превышает, % масс: 1,5 при 60 °С и 7,2 при 20 °С, практически полное извлечение железа достигается на 3 стадии, таким образом расход экстрагента можно сократить более чем в 1,7 раза.

Реэкстракцию ионов железа из экстракта осуществляли дистиллированной водой с осаждением из раствора оксида железа $Fe_2O_3$.

На рис. 2 и 3 даны технологическая (рис. 2) и аппаратурная (рис. 3) схемы извлечения ионов железа и марганца из водных растворов их солей.

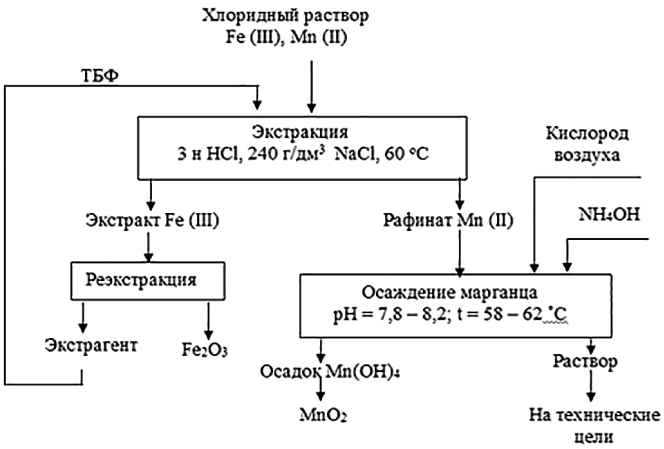



*Рис. 2. Принципиальная технологическая схема селективного извлечения железа (III) и марганца (II) из водного раствора*
*Fig. 2. Schematic flow diagram of selective extraction of iron (III) and manganese (II) from an aqueous solution*

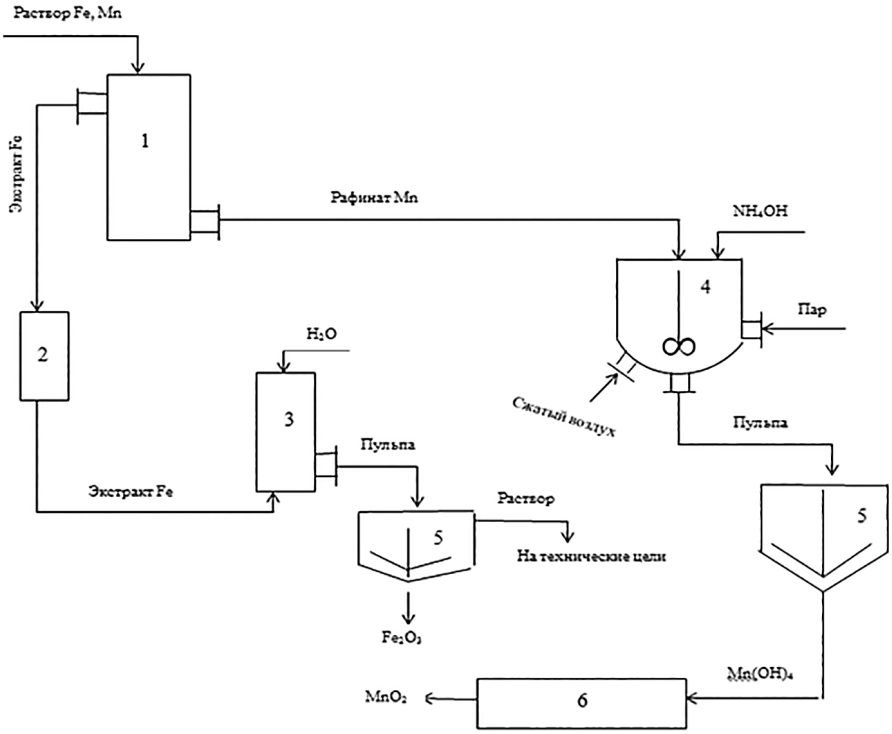



*Рис. 3. Аппаратурная схема селективного извлечения железа и марганца из водного раствора в соответствии с технологической схемой: 1 —* экстрактор, *2 —* сборник экстракта, *3 —* реэкстрактор, *4 —* реактор, *5 —* отстойник, *6 —* печь прокалки
*Fig. 3. Hardware scheme for selective extraction of iron and manganese from an aqueous solution in accordance with the technological scheme: 1 —* extractor, *2 —* extract collector, *3 —* reextractor, *4 —* reactor, *5 —* settling tank, *6 —* calcination furnace

Экстракцию ионов Fe (III) осуществляют трибутилфосфатом из водного раствора с концентрацией 3н HCl, 240 NaCl г/дм$^3$ и температурой 60 ºС порционным введением ТБФ при минимальном времени контакта раствора и экстрагента, затем осуществляют реэкстракцию ионов железа из экстракта водой с осаждением оксида железа $Fe_2O_3$.

Из рафината после экстракции железа осаждали гидроксид марганца водным раствором аммиака с концентрацией 150 г/дм$^3$ при pH = 8 и температуре 60 ºС с продувкой щелочного раствора воздухом:

$$MnCl_2 + 2NH_4OH + {}^1/_2O_2 + H_2O = \\ = Mn(OH)_4 + 2NH_4Cl.$$

Затем пульпу фильтровали, осадок $Mn(OH)_4$ подвергали сушке и обжигу для получения $MnO_2$.

В результате использования таких реагентов, как $NH_3$ и HCl, в технологических растворах накапливается соль $NH_4Cl$. Полученный после осаждения марганца раствор хлорида аммония обезвреживается выпаркой с последующей кристаллизацией хлорида аммония в товарный продукт.

Для безотходной технологии важно из соли $NH_4Cl$ вернуть реагенты $NH_3$ и HCl. Раздельное получение газообразных основного ($NH_3$) и кислого (HCl) реагентов можно осуществить [14] взаимодействием солей $(NH_4)_2SO_4$ и $NH_4Cl$ по схеме (рис. 4).

$$\text{1 стадия: } (NH_4)_2SO_{4тв.} = \\ NH_4HSO_{4жидк.} + NH_{3газ;} \qquad (1)$$

$$\text{2 стадия: } NH_4HSO_{4жидк.} + NH_4Cl_{тв.} = \\ = (NH4)2SO4тв. + NClгаз, \qquad (2)$$

при этом процесс осуществляется циклически с регенерацией соли $(NH_4)_2SO_4$ по реакции (2) и $NH_4Cl$ в технологических циклах, использующих указанные газообразные реагенты.

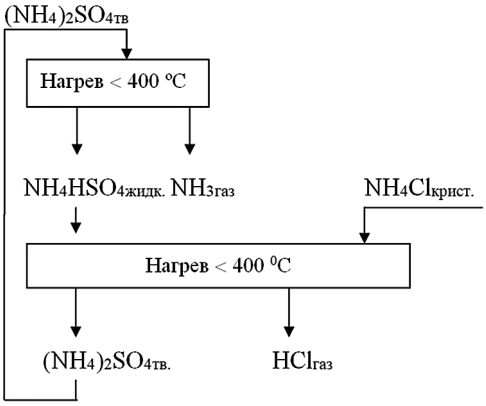



*Рис. 4. Раздельное получение газообразных основного (NH3) и кислого (HCl) реагентов взаимодействием солей $(NH_4)_2SO_4$ и $NH_4Cl$*
*Fig. 4. Separate preparation of gaseous basic ($NH_3$) and acidic (HCl) reagents by interaction of salts $(NH_4)$ $2SO_4$ and $NH_4Cl$*

Суммарный процесс, включающий 1 и 2 стадии, заключается в термическом разложении соли **$NH_4Cl$** по схеме

$$NH_4Cl_{тв.} = NH_{3газ} + NCl_{газ}, \qquad (3)$$

Нельзя напрямую использовать реакцию (3), так как получается смесь газов, что для осуществления технологического процесса извлечения металлов из полиметаллического сырья потребует их разделения. С этой целью лучше применить схему с использованием и регенерацией соли $(NH_4)_2SO_4$, в то время как соль $NH_4Cl_{тв.}$ регенерируется в технологическом процессе.

Помимо кислого реагента (HCl) получают и основной реагент ($NH_3$), что и определяет возможности широкого использования данного способа в разнообразных процессах с высокими показателями извлечения ценных компонентов и без загрязнений окружающей среды.

**Выводы**

1. Разработан универсальный способ переработки рудного сырья и техногенных отходов, содержащих ионы

Fe (III) и Mn (II), с замкнутым технологическим циклом — без сточных вод и выбросов вредных газов в атмосферу.

2. Для селективного извлечения ионов Fe (III) и Mn (II) из водных растворов смеси их солей сначала осуществляют экстракцию ионов Fe (III) трибутилфосфатом, из водного раствора с концентрацией 3н HCl, 240 NaCl г/дм$^3$ и температурой 60 °С порционным введением ТБФ при минимальном времени контакта раствора и экстрагента, затем осуществляют реэкстракцию ионов железа из экстракта водой с осаждением оксида железа $Fe_2O_3$ и осаждением гидроксида марганца из рафината аммиаком при продувке раствора воздухом при pH = 8 и температуре 60 °С.

3. Способ обеспечивает высокую селективность процесса извлечения ионов железа и марганца из водных растворов их солей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Дребенштедт К.*, *Голик В.И.*, *Дмитрак Ю.В.* Перспективы диверсификации технологии добычи металлов в РСО-Алания // Устойчивое развитие горных территорий. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 125—131.

2. *Голик В.И.*, *Разоренов Ю.И.*, *Каргинов К.Г.* Основа устойчивого развития РСО-Алания — горно-добывающая отрасль // Устойчивое развитие горных территорий. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 163—171.

3. *Червяцова О.Я.*, *Потапов С.С.*, *Филиппова К.А.*, *Дбар Р.С.* Некоторые особенности гидрохимического режима новоафонской пещеры (Западный Кавказ) в контексте современного минералообразования и условий питания карстовых вод // Устойчивое развитие горных территорий. — 2018. — Т. 10. — № 1(35). — С. 77—91.

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

5. Патент № 1103 KZ, опубл. Сборник АЕ Грузинской ССР. «Переработка марганцевых и полиметаллических руд Грузии «Мецниереба» 1974. *Омаров С.И.*, *Яковлев В.В.*, *Иманбакиев В.Г.* и др. Способ извлечения марганца из окисленных марганцевых концентратов.

6. *Теляков Н.М.*, *Дарьин А.А.*, *Петухов А.А.* Влияние специфики состава железомарганцевых конкреций Тихого океана и Балтийского моря на технологические показатели извлечения ценных компонентов // Цветные металлы. — 2016. — № 2. — С. 40—45.

7. *Голик В.И.*, *Соболев А.А.*, *Дзапаров В.Х.*, *Харебов Г.З.* Перспективы разработки месторождений Садона // Устойчивое развитие горных территорий. — 2018. — Т. 10. — № 3(37). — С. 420—427.

8. *Пухова В.П.*, *Воропанова Л.А.* Очистка сточных вод горно-перерабатывающих предприятий путем использования природных продуктов // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 134—141.

9. *Вольдман Г.М.*, *Зеликман А.Н.* Теория гидрометаллургических процессов. — М.: Металлургия, 1993. — С. 303—307.

10. *Набойченко С.С.*, *Агеев Н.Г.*, *Дорошкевич А.П.* и др. Процессы и аппараты цветной металлургии. — Екатеринбург, 2005. — 700 с.

11. *Резник И.Д.*, *Соболь С.И.*, *Худяков В.М.* Кобальт. Том 2. — М.: Машиностроение, 1995. — С. 91—93.

12. *Воропанова Л.А.*, *Кокоева Н.Б.* Использование порционной подачи экстрагента для экстракции ионов металлов из водных растворов трибутилфосфатом // Журнал прикладной химии. — 2016. — Т. 89. — Вып. 8. — С. 1077—1082.

13. *Воропанова Л.А.*, *Кокоева Н.Б.* Экстракция ионов железа (III) из водных растворов трибутилфосфатом // Записки горного института. — 2015. — Т. 213. — С. 24—30.

14. *Воропанова Л.А.* Извлечение металлов из полиметаллического сырья с регенерацией основного ($NH_3$) и кислого (HCl) реагентов // Экология и промышленность России. — 2019. — Т. 23. — № 2. — С. 52—54. ГИАБ

## REFERENCES

1. Drebenshtedt K., Golik V.I., Dmitrak Yu.V. Prospects for diversification of metal mining technology in North Ossetia-Alania. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. T. 10. no. 1. pp. 125—131. [In Russ]

2. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Karginov K.G. The basis of sustainable development of North Ossetia-Alania is the mining industry. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. T. 9. no. 2. pp. 163—171. [In Russ]

3. Chervyacova O.Ya., Potapov S.S., Filippova K.A., Dbar R.S. Some features of the hydrochemical regime of the New Athos cave (Western Caucasus) in the context of modern mineral formation and feeding conditions of karst waters. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. T. 10. no. 1(35). pp. 77—91. [In Russ]

4. Shchyolkin A.A., Chekushina E.V., Chekushina T.V. Experimentalstudiesontheextractionofmanganesefrommanganese-containing sludge from an enrichment plant. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. 2009. pp. 60—65. [In Russ]

5. *Patent no. 1103 KZ*, opubl. Sbornik AE Gruzinskoj SSR. «Pererabotka margancevyh i polimetallicheskih rud Gruzii «Mecniereba» 1974. Omarov S.I., Yakovlev V.V., Imanbakiev V.G. i dr. Sposob izvlecheniya marganca iz okislennyh margancevyh koncentratov. [In Russ]

6. Telyakov N.M., Dar'in A.A., Petuhov A.A. The influence of the specific composition of iron-manganese nodules of the Pacific Ocean and the Baltic Sea ontechnologicalindicators of the extraction of valuable components. *Cvetnye metally*. 2016. no. 2. pp. 40—45. [In Russ]

7. Golik V.I., Sobolev A.A., Dzaparov V.H., Harebov G.Z. Prospects for the development of Sadon deposits. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018. T. 10. no. 3(37). pp. 420—427. [In Russ]

8. Puhova V.P., Voropanova L.A. Wastewater treatment of mining enterprises through the use of natural products. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. T. 11. no. 2. pp. 134—141. [In Russ]

9. Vol'dman G.M., Zelikman A.N. *Teoriya gidrometallurgicheskih processov* [Theory of hydrometallurgical processes]. Moscow: Metallurgiya, 1993. pp. 303—307. [In Russ]

10. Nabojchenko S.S., Ageev N.G., Doroshkevich A.P. i dr. *Processy i apparaty cvetnoj metallurgii* [Processes and apparatuses of non-ferrous metallurgy]. Ekaterinburg, 2005. 700 p. [In Russ]

11. Reznik I.D., Sobol' S.I., Hudyakov V.M. *Kobal't* [Cobalt]. Tom 2. Moscow: Mashinostroenie, 1995. pp. 91—93. [In Russ]

12. Voropanova L.A., Kokoeva N.B.Ispol'zovanie porcionnoj podachi ekstragenta dlya ekstrakcii ionov metallov iz vodnyh rastvorov tributilfosfatom. *Zhurnal prikladnoj himii*. 2016. T. 89. Vyp. 8. pp. 1077—1082. [In Russ]

13. Voropanova L.A., Kokoeva N.B. Extraction of iron (III) ions from aqueous solutionswithtributylphosphate. *Zapiski gornogo instituta*. 2015. T. 213. pp. 24—30. [In Russ]

14. Voropanova L.A. Extraction of metals from polymetallic raw materials with the regeneration of the main (NH3) and acidic (HCl) reagents. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2019. T. 23. no. 2. pp. 52—54. [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Воропанова Лидия Алексеевна*[1] — докт. техн. наук, профессор, lidia_metall@mail.ru;
*Гагиева Фатима А.*[1] — канд. техн. наук, ст. преп., fatima.gagieva.80@mail.ru;
*Кокоева Наталия Борисовна*[1] — канд. техн. наук, доцент, kokoeva.natali.borisovna@yandex.ru;
[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, г. Владикавказ, РСО-Алания, Россия.
**Для контактов**: Воропанова Л.А., lidia_metall@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Voropanova L.A.*[1], Dr. Sci. (Eng.) , Professor, lidia_metall@mail.ru;
*Gagieva F.A.*[1], Cand. Sci. (Eng.), Art. teacher, fatima.gagieva.80@mail.ru;
*Kokoeva N.B.*[1], Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, kokoeva.natali.borisovna@yandex.ru;
[1] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, 362021 Russia.
**Corresponding author**: L.A. Voropanova, e-mail: lidia_metall@mail.ru

Получена редакцией 26.05.2020; получена после рецензии 03.07.2020; принята к печати 10.10.2020.
Received by the editors 26.05.2020; received after the review 03.07.2020; accepted for printing 10.10.2020.