



Оригинальная статья / Original article

УДК 544.7:628.3

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/1814-3520-2018-6-204-212>

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ НА ИОНИТЕ LEWATIT MONOPLUS TP-220 ИЗ РАСТВОРОВ АЗОТНОКИСЛОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА

С.В. Захарьян¹, Л.М. Каримова², С.С. Набойченко³, Д.А. Рогожников⁴

^{1,2} НИЦИТ ТОО «КазГидроМедь»,

100009, Казахстан, г. Караганда, ул. Ерубаева, 51/1.

^{3,4} Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,

620002, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

РЕЗЮМЕ. ЦЕЛЬ. Исследовать равновесия в системе ионит TP-220 – медьсодержащий раствор и кинетические характеристики ионита Lewatit TP-220 применительно к раствору после азотнокислого выщелачивания медного концентрата забалансовой руды Жезказганского месторождения. **МЕТОДЫ.** Эксперименты по установлению равновесия сорбции проводили в статическом режиме. Статическую сорбцию проводили в стеклянных сосудах, перемешивание фаз в которых осуществляли посредством механических агитаторов. Навеску сорбента обрабатывали в течение определенного времени исходным раствором при температуре 50°C. По истечении времени процесса проводили разделение фаз. Растворы отбирали для анализа на содержание меди и других катионов. Насыщенный сорбент промывали водой и также анализировали на содержание основных компонентов. **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.** Установлено, что изотерма сорбции меди на ионите TP-220 подтверждает высокую сорбционную способность даже при предельно низких концентрациях меди в исходном растворе. Температурный фактор в диапазоне от 20 до 50°C при времени контакта фаз более 60 минут не оказывает заметного влияния на ионообменные показатели сорбента. **ВЫВОДЫ.** Сорбция меди на исследуемом сорбенте протекает с высокой скоростью, обеспечивая его максимальную емкость уже после 60 минут контакта при комнатной температуре, т.е. сорбент имеет хорошие кинетические свойства по сорбции меди.

Ключевые слова: гидрометаллургия меди, азотнокислый раствор, ионит, сорбционная емкость, кинетические кривые.

Информация о статье. Дата поступления 4 апреля 2018 г.; дата принятия к печати 8 мая 2018 г.; дата онлайн-размещения 29 июня 2018 г.

Формат цитирования. Захарьян С.В., Каримова Л.М., Набойченко С.С., Рогожников Д.А. Сорбционное извлечение меди на ионите LEWATIT MONOPLUS TP-220 из растворов азотнокислого выщелачивания медного концентрата // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 6. С. 204–212. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-6-204-212

SORPTION EXTRACTION OF COPPER BY IONITE LEWATIT MONOPLUS TP-220 FROM NITRIC ACID SOLUTIONS OF COPPER CONCENTRATE LEACHING

S.V. Zakharyan, L.M. Karimova, S.S. Naboichenko, D.A. Rogozhnikov

Scientific Research Center of Innovation Technologies "Kazgidromet" LLC,
51/1, Erubayev St., Karaganda, 100009, Kazakhstan

¹Захарьян Семен Владимирович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, e-mail: szakharyan@yandex.kz

Semyon V. Zakharyan, Candidate of technical sciences, Head of the Laboratory, e-mail: szakharyan@yandex.kz

²Каримова Люция Монировна, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: lutsia.08@mail.ru

Lyutsiya M. Karimova, Candidate of Chemistry, Leading Researcher, e-mail: lutsia.08@mail.ru

³Набойченко Станислав Степанович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлургии цветных металлов, член-корреспондент Российской академии наук, e-mail: s.s.naboichenko@urfu.ru

Stanislav S. Naboichenko, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Metallurgy of Non-Ferrous Metals, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, e-mail: s.s.naboichenko@urfu.ru

⁴Рогожников Денис Александрович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры металлургии цветных металлов, e-mail: darogozhnikov@yandex.ru

Denis A. Rogozhnikov, Candidate of technical sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Department of Metallurgy of Non-Ferrous Metals, e-mail: darogozhnikov@yandex.ru



Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
19, Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation

ABSTRACT. The **PURPOSE** of the paper is to study the equilibrium in the system ion-exchanger TP-220 – copper-containing solution and kinetic characteristics of Lewatit TP-220 ion-exchanger as applied to the solution after the nitric acid leaching of the copper concentrate of the unpayable ore of the Zhezkazgan deposit. **METHODS.** Static experiments were carried out to determine sorption equilibrium. Static sorption was conducted in glass jars where the phases were mixed by mechanical agitators. The sample of the sorbent was treated for a certain time by the initial solution at the temperature of 75°C. At the end of the process the phases were separated. The solutions were sampled to analyze the content of copper and other cations. The saturated sorbent was washed with water and analyzed for the content of main components. **RESULTS AND THEIR DISCUSSION.** It has been determined that the isotherm of copper sorption by ion-exchanger TP-220 confirms high sorption capacity even at extremely low concentrations of copper in the initial solution. The temperature factor in the range from 20 to 50°C at a contact time of phases more than 60 minutes does not have any noticeable effect on the ion exchange parameters of the sorbent. **CONCLUSIONS.** The sorption of copper on the sorbent under investigation features high rate that ensures its maximum capacity even after 60 minute contact at room temperature, i.e. sorbent has good kinetic properties of copper sorption.

Keywords: copper hydrometallurgy, nitric acid solution, ion exchanger, sorption capacity, kinetic curves

Information about the article. Received April 4, 2018; accepted for publication May 8, 2018; available online June 29, 2018.

For citation. Zakharyan S.V., Karimova L.M., Naboichenko S.S., Rogozhnikov D.A. Sorption extraction of copper by ionite Lewatit Monoplus TP-220 from nitric acid solutions of copper concentrate leaching. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2018, vol. 22, no. 6, pp. 204–212. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-6-204-212 (in Russian).

Введение

В настоящее время доля гидрометаллургических схем переработки минерального сырья в общем количестве разрабатываемых технологий возрастает. Основа данной тенденции заключается в гибкости, универсальности и независимости гидрометаллургических процессов от состава сырья, чего нельзя сказать про пирометаллургические технологии. В связи с количественным и качественным истощением запасов Жезказганского месторождения (Казахстан, Карагандинская область), принадлежащего ТОО «Корпорации «Казахмыс», дальнейшая работа металлургического производства по существующей пирометаллургической технологии не может обеспечить достаточную эффективность.

Исходным сырьем является черновой медный концентрат Жезказганской обогатительной фабрики следующего химического состава (табл. 1), содержащий, помимо представленных компонентов (с учетом их ассоциации с кислородом и водородом), 32,89 г/т Ag. Основными рудными медьсодержащими минералами являются халькопирит, борнит, халькозин.

Для переработки сульфидных мед-

ных концентратов перспективными являются гидрометаллургические способы с использованием в качестве выщелачивающего агента растворов азотной кислоты или смеси азотной и серной кислот [1–5] с последующей регенерацией HNO_3 из отходящих нитрозных газов. Кроме значительной интенсификации протекающих гетерофазных реакций, метод позволяет значительно упростить последующую очистку растворов.

Дальнейшая переработка полученных таким способом продуктивных растворов сорбционными методами [6–9] позволяет селективно выделить медь, серебро, редкие элементы из раствора с высокой степенью извлечения более 99% [10], с последующей дальнейшей переработкой десорбатов для получения товарной продукции.

Сорбционное извлечение меди осуществляли на ионите Lewatit MonoPlus TP-220 производства Lanxess (Германия).

Целью работы является исследование равновесия в системе ионит TP-220 – медьсодержащий раствор и изучение кинетических характеристик ионита Lewatit TP-220 применительно к раствору после азотнокислого выщелачивания медного концен-



Таблица 1

Химический состав исходного сырья

Table 1

Chemical composition of source raw materials

Элемент/Element	Cu	Fe	Pb	Zn	Ti	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Масс./Wt.,%	7,66	9,76	0,548	0,75	0,40	2,97	60,68	8,64	3,48	1,93

трата забалансовой руды Жезказганского месторождения.

В настоящее время применению сорбента Lewatit TP-220 [11] для извлечения катионов тяжелых металлов посвящен ряд работ.

Согласно данным работы [12], сорбент TP-220 наряду с ионитом Dowex M 4195 эффективно извлекает катионы меди, никеля и кобальта из сульфатных сред. При этом емкость ионитов определяется кислот-

ностью среды и температурой. Оптимальное значение pH сорбции 1÷4.

В работе [13] с целью доизвлечения остаточного количества меди из электролизных растворов применяли сорбцию с использованием ионообменной смолы Lewatit Monoplus TP-220. Емкость ионообменной смолы по меди и ее извлечение, соответственно, составили 29,5 г/дм³ и 98,15%, при этом подтверждена высокая селективность извлечения.

Результаты и обсуждение

Нами были проведены эксперименты по установлению равновесия сорбции в статическом режиме. Концентрация ионов водорода в растворе составляла 0,5 моль/дм³, состав раствора указан в табл. 2. Предварительно объем смолы помещали на сутки в емкость с водой для набухания. Статическую сорбцию проводили в стеклянных сосудах, перемешивание фаз в которых осуществляли посредством механических агитаторов. Навеску сорбента обрабатывали в течение определенного времени исходным раствором при температуре 50°C. По истечении времени процесса проводили разделение фаз. Растворы отбирали для анализа на содержание меди и других катионов [14]. Насыщенный сорбент промывали водой и также анализировали на содержание основных компонентов.

Для определения времени, необходимого для установления равновесия в системе ионит-раствор [15–18], а также COE ионита была проведена серия экспериментов при температуре 20°C и значении Ж:Т = 4:1 с различной продолжительностью; результаты представлены в табл. 3.

Как видно из результатов эксперимента, среднее значение COE по меди в

условиях сорбции из раствора составляет 36,3 г/дм³ влажного насыщенного сорбента. При этом для достижения данной степени насыщения достаточно 120 минут контакта сорбента и раствора.

Несмотря на сложный многокомпонентный характер исходного раствора, следует отметить высокую селективность катионита TP-220 по отношению к ионам меди. Наиболее конкурентоспособными при сорбции являются ионы железа, общее содержание которых в растворе находится на уровне 55–60 г/дм³. Емкость сорбента по ионам железа в условиях нашего эксперимента не превышала 1,3 г/дм³ ионита.

В связи с возможными изменениями концентрации меди в исходном растворе (применительно к реальным производственным условиям) в определенных границах снимали изотерму сорбции меди. Концентрацию меди в исходном растворе варьировали в интервале 0,5–36,0 г/дм³, значении Ж:Т = 4:1, при температуре процесса 20°C и продолжительности экспериментов 120 мин. Концентрацию остальных ионов в растворе не изменяли. Полученные результаты представлены в табл. 4 и на рис. 1.



Таблица 2

Состав раствора азотнокислого выщелачивания изучаемого
медного концентрата, г/дм³

Table 2

Composition of the nitric acid leaching solution of the examined copper concentrate, g/dm³

Cu ²⁺	Fe ³⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SO ₄ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻
16,5	60,0	13,9	2,2	2,4	160,0	0,2	7,2	36,0

Таблица 3

Исследование процесса равновесия в системе раствор-ионит

Table 3

Study of the equilibrium process in the solution-ion exchanger system

№	Время сорбции, мин/ Sorption time, min	Содержание в ионите, %*/ Content in ion-exchanger,%*						γ, см³/г/ cm³/g	
		Cu		Fe		Na	Al		Mg
		%	г/дм³**/ g/dm³**	%	г/дм³/ g/dm³				
1	120	9,45	36,62	0,31	1,20	<0,1	<0,1	<0,1	2,58
2	240	9,38	36,35	0,22	0,85	<0,1	<0,1	<0,1	2,57
3	360	9,42	35,80	0,33	1,28	<0,1	<0,1	<0,1	2,52
4	480	9,36	36,27	0,17	0,66	<0,1	<0,1	<0,1	2,59
5	600	9,40	36,43	0,25	0,97	<0,1	<0,1	<0,1	2,55

* – процентное содержание от массы воздушно-сухой смолы/ percentage from the air-dry resin weight

** – содержание элемента в объеме слоя сорбента/ element content in the sorbent layer volume

Таблица 4

Результаты экспериментов по сорбции меди

Table 4

Results of experiments on copper sorption

№/ no.	C _{Cu} в исх.р-ре, г/дм ³ / C _{Cu} in original solution	Содержание в ионите, %*/ Content in ion-exchanger, %*							γ, см ³ /г/ cm ³ /g
		Cu		Fe		Na	Al	Mg	
		%	г/дм ^{3**} / g/dm ³	%	г/дм ³ / g/dm ³				
1	0,5	8,02	28,71	0,27	0,97	<0,1	<0,1	<0,1	2,78
2	1,0	8,54	30,57	0,33	1,18	<0,1	<0,1	<0,1	2,79
3	2,0	9,13	34,66	0,35	1,28	<0,1	<0,1	<0,1	2,75
4	4,5	9,32	34,24	0,33	1,19	<0,1	<0,1	<0,1	2,78
5	9,0	9,51	36,10	0,33	1,20	<0,1	<0,1	<0,1	2,74
6	18,0	9,68	35,16	0,28	0,98	<0,1	<0,1	<0,1	2,87
7	36,0	9,74	36,93	0,25	0,91	<0,1	<0,1	<0,1	2,75

* – процентное содержание от массы воздушно-сухой смолы/ percentage from the air-dry resin weight

** – содержание элемента в объеме слоя сорбента/ element content in the sorbent layer volume

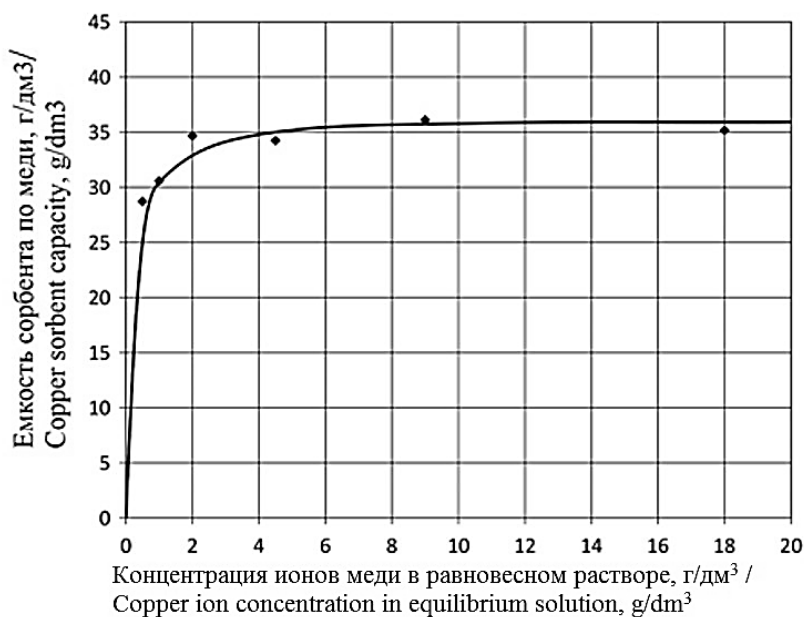


Рис. 1. Изотерма сорбции меди на катионите Lewatit Monoplus TP-220
Fig. 1. Isotherm of copper sorption by cation exchanger Lewatit Monoplus TP-220

Изотерма сорбции меди на катионите TP-220 говорит о высокой сорбционной способности сорбента во всем исследуемом диапазоне исходных концентраций меди. При этом стоит отметить высокое значение коэффициента разделения в паре ионов Cu/Fe даже при предельно низких концентрациях меди в равновесном растворе.

Результаты эксперимента по установлению влияния температуры на процесс сорбции меди и поведение других катионов при значении Ж:Т = 4:1, продолжительности

экспериментов 120 мин, представлены в табл. 5.

Результаты экспериментов показывают, что влияние температуры на сорбционные характеристики ионита TP-220 незначительно. Выбор более высоких температур процесса сорбции ограничен рекомендациями производителя ионообменного материала, который указывает, что эксплуатировать сорбент можно при температуре до 50°C [8].

Таблица 5

Изучение влияния температурного фактора на процесс сорбции меди

Table 5

Study of the temperature factor effect on copper sorption

№/ no.	Температура, °C / Temperature, °C	Содержание в ионите, %*/ Content in ion-exchanger, %*							γ, см³/г/ cm³/g
		Cu		Fe		Na	Al	Mg	
		%	г/дм³**/ g/dm³	%	г/дм³/ g/dm³				
1	20	9,45	36,62	0,31	1,20	<0,1	<0,1	<0,1	2,58
2		9,56	37,61	0,15	0,59	<0,1	<0,1	<0,1	2,54
3	35	9,76	36,25	0,12	0,43	<0,1	<0,1	<0,1	2,80
4		9,68	35,82	0,15	0,55	<0,1	<0,1	<0,1	2,73
5	50	9,75	36,97	0,24	0,87	<0,1	<0,1	<0,1	2,75
6		9,70	36,38	0,15	0,54	<0,1	<0,1	<0,1	2,78

* – процентное содержание от массы воздушно-сухой смолы/ percentage from the air-dry resin weight

** – содержание элемента в объеме слоя сорбента/ element content in the sorbent layer volume



Эксперименты по изучению кинетики сорбции меди проводили в статических

условиях при температуре 20 и 50 °С, Ж:Т = 4:1. Результаты приведены в табл. 6.

Таблица 6

Изучение кинетики сорбции меди на ионите TP-220

Table 6

Studying kinetics of copper sorption by TP-220 ion-exchanger

№	Время сорбции, мин/ Sorption time, min	Температура / Temperature, °C	Содержание в ионите / Content in ion-exchanger, %*							γ, см³/г/ cm³/g
			Cu		Fe		Na	Al	Mg	
			%	г/дм³**/ g/dm³	%	г/дм³/ g/dm³				
1	10	20	8,49	32,94	0,33	1,23	<0,1	<0,1	<0,1	2,68
2	30		9,14	35,28	0,25	0,95	<0,1	<0,1	<0,1	2,64
3	60		9,24	37,15	0,16	0,61	<0,1	<0,1	<0,1	2,64
4	120		9,53	37,54	0,28	1,07	<0,1	<0,1	<0,1	2,62
5	180		8,91	36,17	0,31	1,24	<0,1	<0,1	<0,1	2,49
6	300		9,16	36,27	0,30	1,19	<0,1	<0,1	<0,1	2,53
7	10	50	9,61	35,17	0,28	1,01	<0,1	<0,1	<0,1	2,76
8	30		9,50	34,77	0,30	1,10	<0,1	<0,1	<0,1	2,73
9	60		9,71	36,86	0,33	1,23	<0,1	<0,1	<0,1	2,69
10	120		9,68	36,35	0,17	0,63	<0,1	<0,1	<0,1	2,72
11	180		9,79	36,03	0,31	1,12	<0,1	<0,1	<0,1	2,77
12	300		9,56	35,37	0,19	0,70	<0,1	<0,1	<0,1	2,70

* – процентное содержание от массы воздушно-сухой смолы / percentage from the air-dry resin weight

** – содержание элемента в объеме слоя сорбента / element content in the sorbent layer volume

Графическое выражение результатов эксперимента представлено на рис. 2 в виде интегральных кинетических кривых.

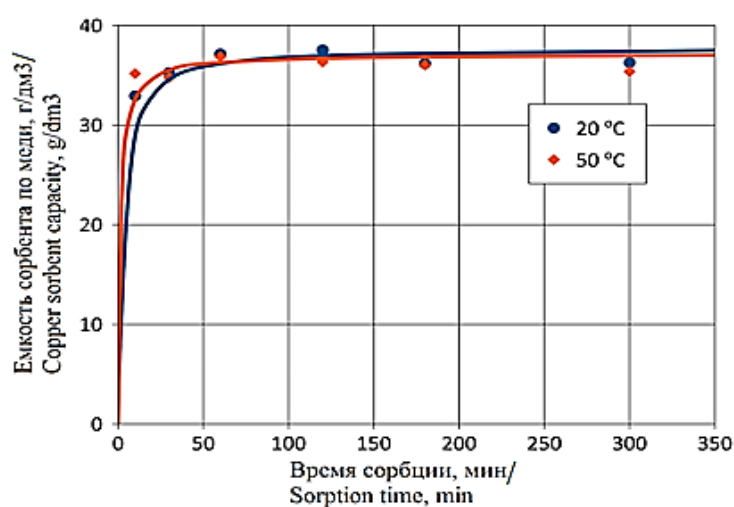


Рис. 2 Кинетические кривые сорбции меди на ионите Lewatit Monoplus TP-220 при температурах 20 и 50°С

Fig. 2. Kinetics curves of copper sorption by ion-exchanger Lewatit Monoplus TP-220 at the temperatures of 20 and 50°C



Как видно из рис. 2, исследуемый ионит показывает высокие кинетические показатели при сорбции меди из кислотных растворов, достигая своей максимальной

емкости уже после 30 минут протекания процесса, а при температуре 50°C – после 10 минут контакта.

Cu^{2+}	Fe^{3+}	Na^+	Mg^{2+}	Al^{3+}	SO_4^{2-}	SiO_3^{2-}	NO_3^-	Cl^-
16,5	60,0	13,9	2,2	2,4	160,0	0,2	7,2	36,0

Выводы

1. Для исследований использовали продуктивный раствор азотнокислого выщелачивания медного концентрата забалансовой руды Жезказганского месторождения с концентрацией H^+ 0,5 моль/дм³, содержанием ионов, г/дм³: Cu^{2+} 16,5, Fe^{3+} 60, SO_4^{2-} 160, NO_3^- 7,2, Cl^- 36.

2. Ионит Lewatit Monoplus TP-220, несмотря на сложный состав исследуемого раствора, обладает высокой селективности к целевому компоненту – иону меди. Из всех примесных ионов раствора катионит поглощает только ионы железа – емкость по железу не превышала 1,4 г/дм³. Среднее значение COE ионита по меди составляет 9,5–10% или 36,0 г/дм³ насыщенного ионита – емкость недостаточно высокая для меди.

3. На изотерме сорбции меди на начальном участке наблюдаются высокие

кинетические показатели емкости сорбента, что говорит о высокой сорбционной способности даже при предельно низких концентрациях ионов меди в исходном растворе.

4. Сорбция меди на исследуемом сорбенте протекает с высокой скоростью, набирая максимальную емкость уже после 60 минут контакта при комнатной температуре, т.е. сорбент имеет хорошие кинетические свойства при сорбции меди.

5. Для принятия решений по практическому применению сорбента Lewatit Monoplus TP-220 требуется провести испытания процесса сорбции-десорбции на реальных медьсодержащих растворах в динамических условиях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00186).

Библиографический список

1. Цогтхангай Д., Мамяченков С.В., Анисимова О.С., Набойченко С.С. Кинетические закономерности выщелачивания медных концентратов азотной кислотой // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2011. № 6. С. 8–12.
2. Мамяченков С.В., Анисимова О.С., Набойченко С.С. Азотнокислородное выщелачивание медных концентратов как альтернатива их пирометаллургической переработке // Международная НТК «Приоритетные направления развития науки и технологий». Тула, 2011. С. 215–217.
3. Bekturganov N.S., Pirmatov E.A., Kasymzhanov K.K., Shoinbaev A.T., Iskakova Z.Z. Molybdenite concentrate sulphuric-acid leaching at pyrolusite presence. 11th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO - Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2011. P. 1171–1174.
4. Rogozhnikov, D.A., Mamyachenkov, S.V., Anisimova, O.S. Nitric Acid Leaching of Copper-Zinc Sulfide Middlings. Metallurgist. 2016. T. 60. P. 229–233.

5. Sudakov D.V., Chelnokov S.Yu., Rusalev R.E., Elshin A. N., Technology and Equipment for Hydrometallurgical Oxidation of Refractory Gold-Bearing Concentrates (ES-Process) Tsvetnye Metally 2017. Vol. 3. P. 40–44.
6. Хурамшина И.З., Никифоров А.Ф., Липунов И.Н., Первова И.Г. Сорбционное извлечение меди (II) из водных растворов природными минеральными сорбентами на основе опал-кristобалитовых пород // Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т. 14. Вып. 2. С. 338–344.
7. Anderson C.G., Twidwell L.G. Hydrometallurgical processing of gold-bearing copper enargite concentrates. CANADIAN METALLURGICAL QUARTERLY. 2008. T. 47. P. 337–345.
8. Bin Xu, Yongbin Yang, Qian Li, Guanghui Li, Tao Jiang. Fluidized roasting-stage leaching of a silver and gold bearing polymetallic sulfide concentrate. Hydrometallurgy. 2014. P. 79–82.
9. Wu Z.H., Dreisinger D.B., Urch H., Fassbender S. The kinetics of leaching galena concentrates with ferric methanesulfonate solution. Hydrometallurgy. 2014. Vol. 142. P. 121–130.



10. Земскова Л.А., Шевелева И.В., Войт А.В., Емелина Т.Б., Глущенко В.Ю. Сорбция и электросорбция Cu (II) модифицированными углеродными сорбентами // Цветные металлы. 2007. № 2. С. 57–60.
11. Юн А.Б., Захарьян С.В., Каримова Л.М., Терентьева И.В., Серикбай А.У. Исследования по азотнокислому выщелачиванию черного медного концентрата ЖОФ из руд текущей добычи ТОО «Корпорация Казахмыс» // Абишевские чтения – 2016. Инновации в комплексной переработке минерального сырья: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Алматы, 2016 г.). Алматы, 2016. С. 581–583.
12. Описание анионита Lewatit MonoPlus TP 220 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.yichemicals.com/admin/UploadFile/201112261442837166.pdf> (24.02.2018).

13. Kolodyńska D., Sopińska-Chmiel W., Mendyk E., Hubicki Z. Dowex M 4195 and Lewatit TP 220 in heavy metal ions removal from acidic streams. Separation Science and Technology. 2014. Vol. 49. P. 2003–2015.
14. Wołowicz A., Hubicka Z. The use of the chelating resin of a new generation Lewatit MonoPlus TP-220 with the bis-picolylamine functional groups in the removal of selected metal ions from acidic solutions. Chemical Engineering Journal. 2012. Vol. 197. P. 493–508.
15. Подчайнова В.Н., Смирнова Л.Н. Аналитическая химия меди. М.: Изд-во Наука, 1990. 279 с.
16. Никольского Б.П., Романкова П.Г. Иониты в химической технологии. Л.: Изд-во Химия, 1982. 416 с.
17. Кокотов Ю.А., Пасечник В.А. Равновесие и кинетика ионного обмена. Л.: Изд-во Химия, 1970. 336 с.
18. Знаменский Ю.П., Бычков Н.В. Кинетика ионообменных процессов Обнинск: Принтер, 2000. 204 с.

References

1. Tsogtkhangai D., Mamyachenkov S.V., Anisimova O.S., Naboichenko S.S. Kinetics of leaching of copper concentrates by nitric acid / Russian Journal of Non-Ferrous Metals, vol. 52, no. 6, 2011, pp. 469–472. (In Russian).
2. Mamyachenkov S.V., Anisimova O.S., Naboichenko S.S. Azotnokisloe vyshchelachivanie mednykh koncentratov kak alternativa ih pirometallurgicheskoy pererabotke [Nitric acid leaching of copper concentrates as an alternative to their pyrometallurgical processing]. Mezhdunarodnaya NTK «Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki i tekhnologii» [International scientific and technical conference "Priority development directions of science and technology]. Tula, 2011, pp. 215–217. (In Russian).
3. Bekturganov N.S., Pirmatov E.A., Kasymzhanov K.K., Shoinbaev A.T., Iskakova Z.Z. Molybdenite concentrate sulphuric-acid leaching at pyrolusite presence / 11th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO - Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM, 2011, pp. 1171–1174.
4. Rogozhnikov, D.A., Mamyachenkov, S.V., Anisimova, O.S. Nitric Acid Leaching of Copper-Zinc Sulfide Middlings // Metallurgist, 2016, vol. 60, pp. 229–233.
5. Sudakov D.V., Chelnokov S.Yu., Rusalev R.E., Elshin A. N., Technology and Equipment for Hydrometallurgical Oxidation of Refractory Gold-Bearing Concentrates (ES-Process) Non-Ferrous Metals, 2017, vol. 3, pp. 40–44.
6. Hramshina I.Z., Nikiforov A.F., Lipunov I.N., Pervova I.G. Sorption extraction of copper (II) from aqueous solutions by natural mineral sorbents based on opal-cristobalite rocks. Sorbionnye i hromatograficheskie processy [Sorption and chromatographic processes], 2014, vol. 2, pp. 338–344. (In Russian).
7. Anderson C.G., Twidwell L.G. Hydrometallurgical processing of gold-bearing copper enargite concentrates. CANADIAN METALLURGICAL QUARTERLY, 2008, vol. 47, pp. 337–345.
8. Bin Xu, Yongbin Yang, Qian Li, Guanghui Li, Tao Jiang. Fluidized roasting-stage leaching of a silver and

gold bearing polymetallic sulfide concentrate. Hydrometallurgy, 2014, pp. 79–82.
9. Wu, Z. H., Dreisinger, D. B., Urch, H., Fassbender, S. The kinetics of leaching galena concentrates with ferric methanesulfonate solution. Hydrometallurgy, 2014, vol. 142, pp. 121–130.
10. Zemskova L.A., Sheveleva I.V., Vojt A.V., Emelina T.B., Glushchenko V.Yu. Sorption and electrosorption of Cu (II) by modified carbon sorbents. Cvetnye metally [Non-Ferrous Metals], 2007, vol. 2, pp. 57–60. (In Russian).
11. Yun A.B., Zahar'yan S.V., Karimova L.M., Terent'eva I.V., Serikbay A.U. Issledovaniya po azotnokislomu vyshchelachivaniyu chernovogo mednogo koncentrata ZHOФ iz rud tekushchej dobychi TOO «Korporaciya Kazahmys» [Studies on the nitric acid leaching of rough copper concentrate of Zhevkazgan concentration plant from current extraction ores of Kazakhmys Holding LLC]. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii Abishevskie chteniya – 2016 "Innovacii v kompleksnoj pererabotke mineral'nogo syr'ya" [Materials of the International Scientific and Practical Conference Abyshev Readings –2016 "Innovations in the Complex Processing of Mineral Raw Materials"]. Almaty, 2016, pp. 581–583. (In Russian).
12. Opisanie anionita Lewatit MonoPlus TP 220 [Description of the anionite of Lewatit MonoPlus TP 220]. Available at: <http://www.yichemicals.com/admin/UploadFile/201112261442837166.pdf>. (accessed 24 February 2018).
13. Kolodyńska D., Sopińska-Chmiel W., Mendyk E., Hubicki Z. Dowex M 4195 and Lewatit TP 220 in heavy metal ions removal from acidic streams. Separation Science and Technology, 2014, vol. 49, pp. 2003–2015.
14. Wołowicz A., Hubicka Z. The use of the chelating resin of a new generation Lewatit MonoPlus TP-220 with the bis-picolylamine functional groups in the removal of selected metal ions from acidic solutions. Chemical Engineering Journal, 2012, vol. 197, pp. 493–508.



16. Podchajnova V. N., Smirnova L.N. Analiticheskaya himiya medi [Analytical chemistry of copper]. Moscow: Nauka Publ., 1990, 279 p. (In Russian).
17. Nikol'skogo B.P., Romankova P.G. Ionity v himicheskoy tekhnologii [Ionites in chemical technology]. Moscow: Chemistry Publ., 1982, 416 p. (In Russian).

Критерии авторства

Захарьян С.В., Каримова Л.М., Набойченко С.С., Rogozhnikov D.A. заявляют о равном участии в получении и оформлении научных результатов и в равной мере несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

18. Kokotov U.A., Pasechnik V.A. Ravnovesie i kinetika ionnogo obmena [Equilibrium and kinetics of ion exchange]. Moscow: Chemistry Publ., 1970, 336 p. (In Russian).
19. Znamenskij YU.P., Bychkov N.V. Kinetika ionoobmennyyh processov [Kinetics of ion-exchange processes]. Obninsk: Printer Publ., 2000, 204 p. (In Russian).

Authorship criteria

Zakharyan S.V., Karimova L.M., Naboichenko S.S., Rogozhnikov D.A. declare equal participation in obtaining and formalization of scientific results and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.