



Научная статья

УДК 669.053.4

<https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-3-545-553>

Исследования по экстракции меди реагентом Acorga M5774 из растворов кучного выщелачивания месторождения Саяк

Люция Монировна Каримова^{1✉}, Айдар Аргын²¹ТОО «КазГидроМедь», г. Караганда, Республика Казахстан²Satbayev University, г. Алма-Ата, Республика Казахстан¹lutsia.08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6205-6585>²aidar.argyn@solvay.com, <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

Резюме. Цель – проведение исследований по экстракции/реэкстракции меди с применением высокоэффективного экстрагента Acorga M5774 из растворов кучного выщелачивания. Объектом исследований явился экстрагент компании «Solvay» – Acorga M5774 (производитель «Sytec», Бельгия/США), представляющий собой модифицированный альдоксим (5-нонилсалицилальдоксим). Данный экстрагент имеет большую селективность в отношении меди к железу и способствует более быстрому разделению фаз. Для испытаний использовали продуктивный раствор, полученный после перколяционного выщелачивания руды месторождения Саяк (Республика Казахстан), г/дм³: H₂SO₄ – 11,67; Cu – 2,44; Fe – 2,613; Al – 0,345; Si – 0,127; Zn – 0,05, с pH = 1,85. Изучение показателей и работоспособности экстрагента проводилось путем построения кривых изотерм экстракции и реэкстракции, а также моделирования схемы цепи переделов в закрытом цикле и определением извлечения меди на переделе жидкостной экстракции. Проведены исследования по экстракции/реэкстракции меди из продуктивного раствора. В качестве разбавителя экстрагента использовали Elixore 205 – алифатический продукт компании «Total» (Франция), количество которого в органической фазе составляло 90%. На основании проведенных исследований построены изотермы экстракции и реэкстракции. Смоделирован процесс жидкостной экстракции с использованием данных изотерм, при этом извлечение меди составило 96,18% (при соотношении органическая фаза/водная фаза – 1,1), а насыщение на реагент – 79%. Получена зависимость переноса железа из органической фазы от насыщения органической фазы медью. Таким образом, проведенные исследования подтвердили эффективность использования экстрагента Acorga M5774 для извлечения меди из продуктивных растворов кучного выщелачивания руды месторождения Саяк.

Ключевые слова: раствор, медь, экстракция, экстрагент Acorga M5774, диаграмма

Для цитирования: Каримова Л. М., Аргын А. Исследования по экстракции меди реагентом Acorga M5774 из растворов кучного выщелачивания месторождения Саяк // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. № 3. С. 545–553. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-3-545-553>.

METALLURGY

Original article

Studies into copper extraction by Acorga M5774 from heap leaching solutions of the Sayak deposit

Lyutsiya M. Karimova^{1✉}, Aidar Argyn²¹KazHydroMed LLP, Karaganda, Kazakhstan²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan¹lutsia.08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6205-6585>²aidar.argyn@solvay.com, <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

Abstract. The process of extraction/re-extraction of copper from heap leaching solutions using the Acorga M5774 Solvay extractant (Sytec, Belgium/USA) representing a modified aldoxime (5-nonylsalicylaldoxime) was studied. This extractant is characterized by a high effectiveness and a large selectivity of copper to iron, thus enabling a more rapid

phase separation. During experiments, a pregnant leach solution obtained after the percolation leaching of the Sayak deposit ore (Republic of Kazakhstan) was used, g/dm³: H₂SO₄ – 11.67, Cu – 2.44, Fe – 2.613, Al – 0.345, Si – 0.127, Zn – 0.05, pH = 1.85. The main parameters and effectiveness of the extractant were studied by plotting extraction and re-extraction isotherms, as well as by simulating the closed cycle processing sequence and determining the level of copper extraction at the liquid extraction stage. The extraction/re-extraction of copper from pregnant leach solutions was studied. An aliphatic product of Elixore 205 (Total, France) was used as an extractant diluent, with the amount in the organic phase equal to 90%. Based on the conducted studies, extraction and re-extraction isotherms were plotted. In the liquid extraction process, simulated using the obtained isotherms, the extraction of copper comprised 96.18% (at an organic/aqueous phase ratio of 1.1) with a reagent saturation of 79%. The dependence of iron transfer from the organic phase on the saturation of organic phase with copper was obtained. Thus, the performed studies confirmed the effectiveness of the Acorga M5774 extractant for the purposes of extracting copper from pregnant leach solutions obtained during heap leaching of the Sayak deposit ore.

Keywords: solution, copper, extraction, Acorga M5774 extractant, diagram

For citation: Karimova L. M., Argyn A. Studies into copper extraction by Acorga M5774 from heap leaching solutions of the Sayak deposit. *iPolytech Journal*. 2022;26(3):545-553. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-3-545-553>.

ВВЕДЕНИЕ

Жидкостная экстракция занимает значительное место в процессах селективного извлечения, разделения и концентрирования металлов, а также в химической, радиохимической, нефтехимической и других отраслях промышленности. Преимущество экстракции заключается прежде всего в организации непрерывного высокопроизводительного процесса, а, следовательно, в уменьшении капитальных и эксплуатационных затрат.

Технологию жидкостной экстракции и электролиз применяют в основном для переработки окисленных медных руд при использовании методов кучного выщелачивания^{3,4} [1–3]. Помимо перехода в раствор меди, при этом протекает растворение многих примесей, входящих в состав руд, а именно: кремния, алюминия, магния, марганца, железа и т.д.

Эффективность процесса экстракции во многом оценивается составом и смесью органического экстракционного реагента^{5,6} [4–10]. Основные классы реагентов для экстракции меди – это альдоксимные и кетоксимные реагенты. Реагенты кетоксима были

изобретены с использованием рецептур оксима 2-гидроксibenзофенома. Позднее кетоксимные реагенты были приготовлены с использованием 2-гидрокси-5-нонилацетофенона, что сделало их более эффективными для разбавленных кислотных растворов с низким содержанием меди. Альдоксимовые реагенты были изобретены компанией «Acorga Limited» с использованием 5-нонилсалицилальдоксима и затем модифицированы алкилфенолом, который позволил коммерциализировать альдоксимные реагенты. Реагенты, модифицированные сложным эфиром, имеют большую селективность в отношении меди к железу, а также способствуют более быстрому разделению фаз [11–17].

В связи с этим проведены исследования по экстракции/реэкстракции меди с применением нового высокоэффективного экстрагента Acorga M5774, обладающего высокими технологическими свойствами. В качестве разбавителя экстрагента использовали алифатический продукт Elixore 205 компании «Total»⁷ [18–21].

³Набойченко С. С., Агеев Н. Г., Карелов С. В., Мамяченков С. В., Сергеев В. А. Процессы и аппараты цветной металлургии: учеб. пособ. / под ред. С. С. Набойченко. Екатеринбург: Изд-во УГТУ – УПИ, 2013. 564 с.

⁴Марченко Н. В., Вершинина Е. П., Гильдебрандт Э. М. Металлургия тяжелых цветных металлов: электрон. учеб. пособие. Красноярск: Изд-во ИПК СФУ, 2009. 394 с.

⁵Вольдман Г. М., Зеликман А. Н. Теория гидрометаллургических процессов: учеб. пособ. М.: ООО «Интермет Инжиниринг», 2003. 464 с.

⁶Основы гидрометаллургических процессов: учеб. пособ. / под ред. В. А. Луганова. Алматы: Изд-во КазНТУ, 2005. 219 с.

⁷Основы аналитической химии. Кн. 1. Общие вопросы. Методы разделения / под ред. Ю. А. Золотова. 3-е изд., перераб. и доп.: учебник. М.: Изд-во «Высшая школа», 2004. 361 с.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для испытаний применяли продуктивный раствор, полученный после перколяционного выщелачивания руды месторождения Саяк, г/дм³: H₂SO₄ – 11,67; Cu – 2,44; Fe – 2,613; Al – 0,345; Si – 0,127; Zn – 0,05, с pH = 1,85.

Технические данные экстрагента Acorga M5774, используемого для извлечения меди путем жидкостной экстракции, представлены в табл. 1.

Продуктивный раствор PLS (от англ. Pregnant Leach Solution) отбирали из общего потока после выщелачивания руды. Органическую фазу готовили в соотношении ~10% экстракционного агента Acorga M5774 и 90% разбавителя.

Разбавитель Elixore 205 является аналогичным по назначению, близким по физико-

химическим и эксплуатационным свойствам Shellsol D70, состоит из углеводородов C11–C14 (парафины/н-алканы, цикланы/нафтенны) (табл. 2).

Изучение показателей и работоспособности экстрагента проводилось путем построения кривых изотерм экстракции и реэкстракции. Далее, основываясь на полученных данных, проводилось моделирование технологической схемы экстракции-реэкстракции в закрытом цикле и определялось извлечение меди на переделе жидкостной экстракции.

Восемь точек, как правило, требуется для получения качественной кривой изотермы экстракции. Данные для определения точек берутся из анализов тщательно смешанных различных объемов исходного раствора и органической фазы в делительных воронках (время тщательного смешивания – 3–5 мин).

Таблица 1. Технические характеристики экстрагента Acorga M5774

Table 1. Specifications of the Acorga M5774 extractant

Емкость по меди, г/дм³ на об. %	0,56–0,59
Кинетика экстракции при температуре 25°C:	
– за 15 с	не менее чем на 90%
– за 30 с	не менее чем на 95%
Кинетика реэкстракции при температуре 25°C:	
– за 15 с	не менее чем на 95%
Экстракция при 25°C, г/дм ³ по меди:	
– органическая фаза	не менее 4,2
– водная фаза	не более 1,6
Реэкстракция при 25°C, г/дм ³ по меди:	
– органическая фаза	не более 2,1
– водная фаза	не менее 32,0
Селективность, медь/железо	не менее 2000
Расслоение фаз, с:	
– экстракция	не более 60%
– реэкстракция	не более 60%
Кристаллизация/растворимость при 0°C:	
– после 24 ч	осадка не наблюдалось

Таблица 2. Основные характеристики разбавителя Elixore 205 и Shellsol D70

Table 2. Main specifications of the thinning agent Elixore 205 and Shellsol D70

Характеристика	Ед. изм.	Метод	Elixore 205	Shellsol D70
Плотность при 15°C	кг/м ³	ASTM D 4052	820	0,796
Вязкость при 20°C	мм ² /с	ASTM D 445	2,4	–
Вязкость при 25°C			–	2,0
Вязкость при 40°C			1,7	–
Температура вспышки	°C	ASTM D 93	76	78
Содержание ароматических соединений	ppm (x10 ⁻⁴ % масс.)	SMS 2728	–	<200
UV		–	40	–

Примечание. UV – ультрафиолетовая спектроскопия, от англ. Ultraviolet Spectroscopy.

Избирательность меди по железу определяли путем измерения содержания железа в органической фазе и наложения этих величин на график зависимости от процента нагружения реагента медью (за основу берется максимальное насыщение экстрагента в точке 1:10).

Для получения изотермы реэкстракции выполнили четыре опыта. Данные для определения точек берутся из анализов тщательно смешанных различных объемов бедного электролита и максимально нагруженной органической фазы в делительных воронках (время тщательного смешивания – 3–5 мин). Содержание меди в реэкстрагирующем растворе (отработанном электролите) составило 32,4 г/дм³, серной кислоты – 170,7 г/дм³. Максимальное насыщение органической фазы медью составило 5,55 г/дм³.

Данные исходных растворов и результаты анализов представлены в табл. 3, 4.

Кривые экстракции построены на основании данных по содержанию меди в органической фазе (г/дм³) и меди в водной фазе (г/дм³)

– ось x) рис. 1 а. Изотерма реэкстракции построена на основании данных по меди в водной фазе, г/дм³, (ось y) и меди в органической фазе, г/дм³, (ось x) (рис. 1 б).

Для моделирования процесса экстракция–реэкстракция в закрытом цикле была использована программа компании «Solvay» – MinChem.

На основании полученных изотерм лабораторным методом была построена модель (рис. 2), а также диаграмма Маккабе-Тилле (рис. 3), при соотношении органической и водной фаз 1,1:1 в экстракции 4,5:1 в реэкстракции. Сводные данные приведены в табл. 5.

По данным табл. 5, при соотношении О/В – 1,1 извлечение меди при использовании экстрагента Acorga M5774 составило 96,18%, что является очень высоким показателем. Более высокого извлечения возможно достичь, увеличив соотношение О/В, но необходимо учесть, что нагрузка на экстрагент снизится, что приведет к повышенному трансферу железа химическим путем.

Таблица 3. Состав продуктивного раствора выщелачивания руды, г/дм³
Table 3. Composition of the pregnant solution of ore leaching, g/dm³

Cu	Si	H ₂ SO ₄	Fe	Co	Pb	Ag
2,44	0,121	15,96	2,613	<0,01	<0,01	<0,01
Mo	Al	As	Ca	Zn	Sb	pH
<0,01	0,274	<0,01	0,01	0,0057	<0,01	1,85

Таблица 4. Результаты анализов растворов экстракции и реэкстракции
Table 4. Analysis results of extraction and stripping solutions

Объем, мл		Отношение О/В	Содержание, г/дм ³			
органическая фаза	водная фаза		органическая фаза		водная фаза	
			Cu	Fe (мг/дм ³)	Cu	Fe
Изотермы экстракции						
50	25	2:1	1,210	29,30	0,023	2,450
45	30	1,5:1	1,535	11,80	0,030	2,598
35	35	1:1	2,310	16,00	0,063	2,604
30	45	1:1,5	3,425	14,50	0,158	2,564
25	50	1:2	3,975	4,50	0,356	2,608
20	60	1:3	4,805	1,50	0,869	2,638
12	60	1:5	4,960	7,50	1,440	2,597
12	120	1:10	5,200	6,00	1,940	2,612
Изотермы реэкстракции						
60	10	6:1	2,390	–	54,60	–
60	15	4:1	2,205	–	50,90	–
50	25	2:1	1,820	–	43,40	–
25	50	1:2	1,480	–	36,10	–

Примечание. Отношение О/В – отношение объемов органической фазы к водной.

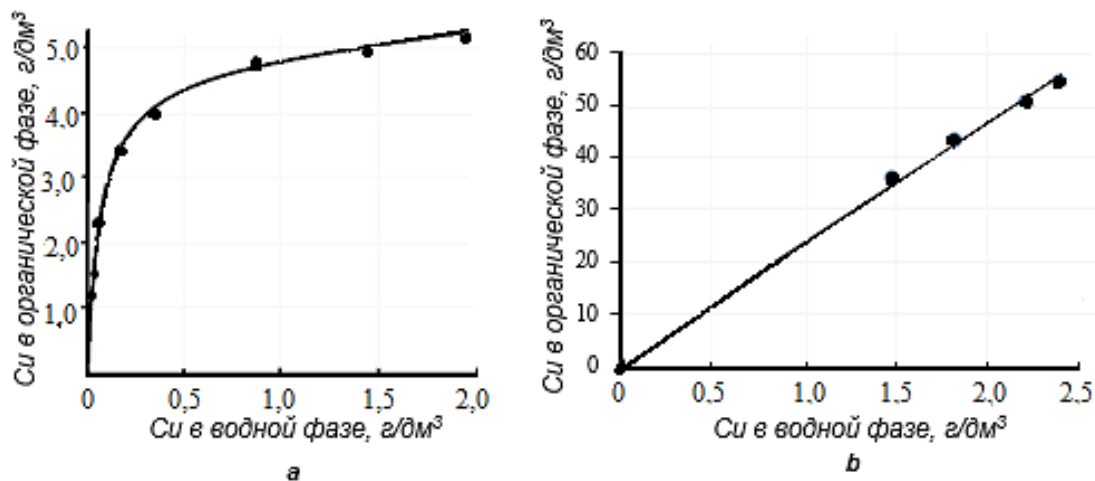


Рис. 1. Кривые экстракции (а) и реэкстракции (b) меди
Fig. 1. Curves of copper extraction (a) and stripping (b)

Таблица 5. Свод параметров, извлечение и трансфер меди
Table 5. Set of parameters, copper extraction and transfer

Схема	Соотношение О/В		Содержание меди, г/дм³				Извлечение, %
	экстракция	реэкстракция	продуктивный раствор	отработанный электролит	электролит	рафинат E2	
2(Э)* + 1(Р)	1,1	4,5	2,44	35	44,6	0,093	96,18

Примечания: Э – экстракция; Р – реэкстракция.

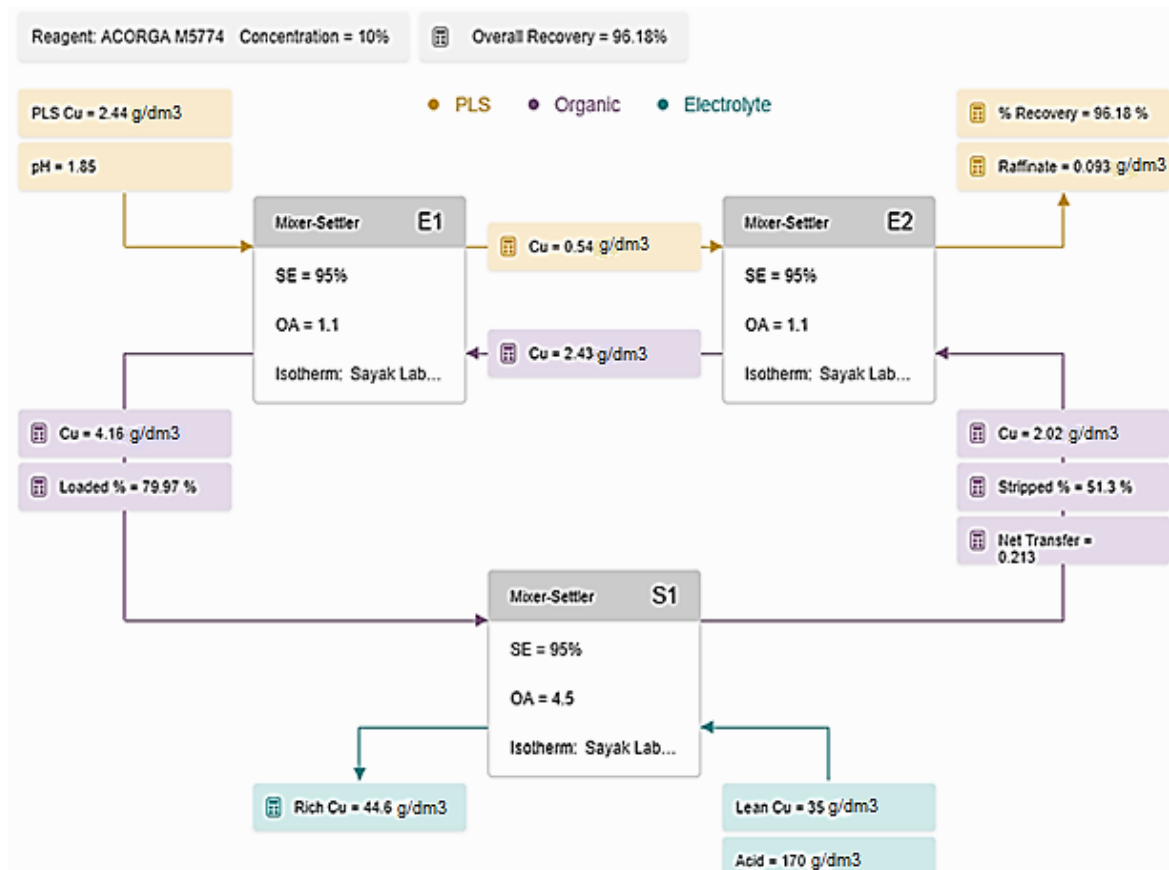


Рис. 2. Модель 2+1. Органическая фаза – ACORGA M5774 10%. Соотношение О/В – 1,1
Fig. 2. Model 2+1. Organic phase – ACORGA M5774 10%. Organic/Water ratio – 1.1

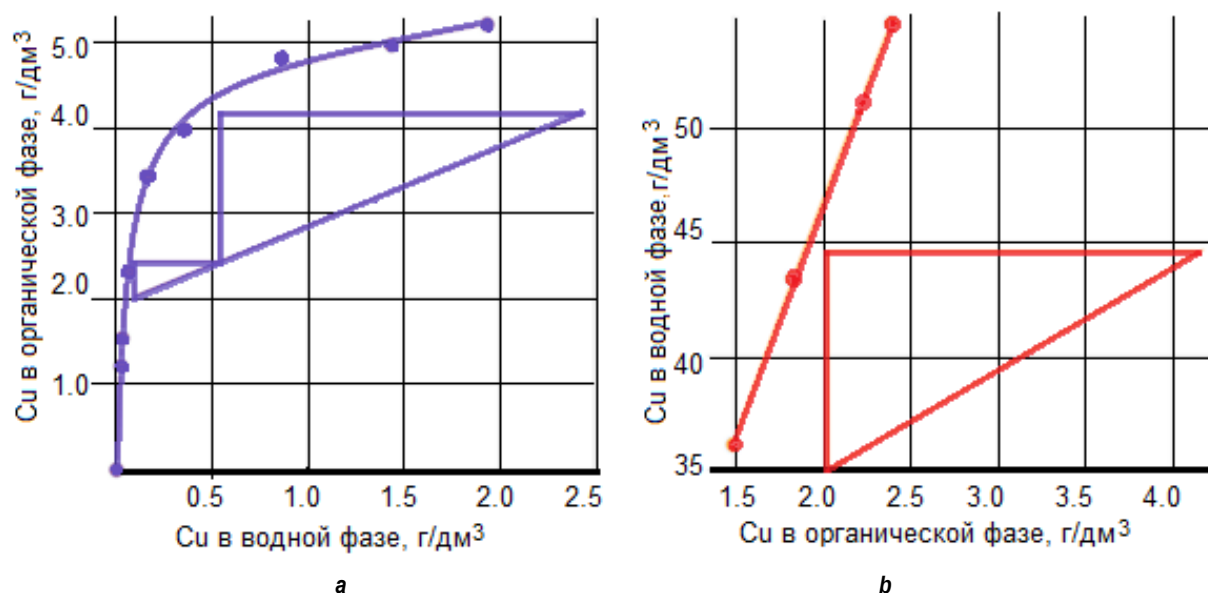


Рис. 3. Модель 2+1. Диаграмма Маккабе-Тилле: а – экстракция; б – реэкстракция
Fig. 3. Model 2+1. McCabe-Thiele diagram: a – extraction; b – stripping

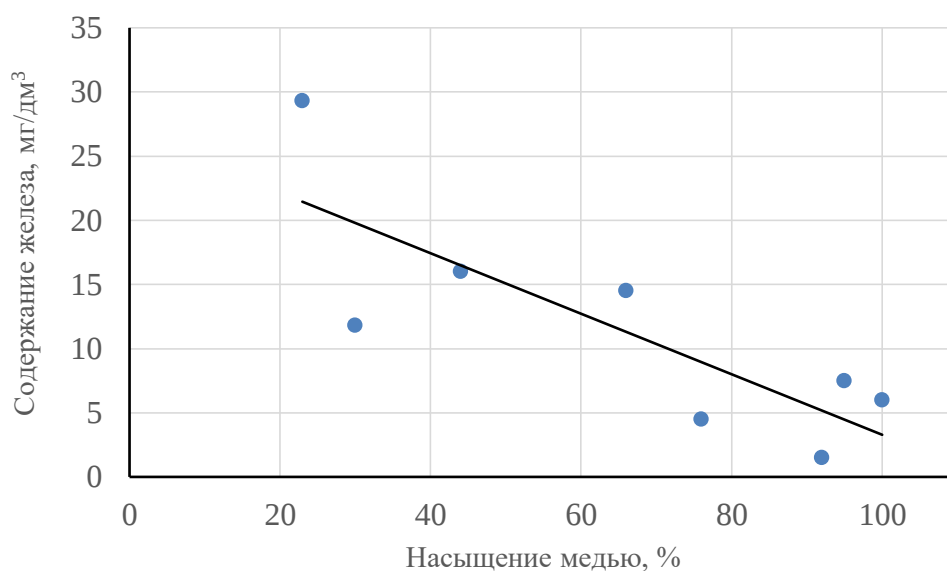


Рис. 4. Зависимость переноса железа от насыщения медью органической фазы
Fig. 4. Dependence of iron transfer on the copper loading of the organic phase

Селективность Cu:Fe является основным параметром в выборе экстрагента. Известно, что железо переходит из растворов PLS в электролиты, соответственно, очень важно создать все условия в стадиях экстракции для снижения переноса. Для этого необходимо максимально насыщать органическую фазу медью, а также использовать селективный экстрагент. Если железо в электролитах превышает допустимую концентрацию (2,5–3

г/дм³), то необходимо обновлять часть электролита, тем самым нести потери по сульфату кобальта, а также остальных добавок, которые дозируются в электролит.

Согласно проведенным тестам, построена зависимость концентрации железа в органической фазе от насыщения органической фазы медью (рис. 4).

Из рис. 4 следует, что перенос железа зависит от насыщения органической фазы ме-

дью. Если насыщенность медью в органической фазе низкая, тогда остальная часть экстрагента будет поглощать железо⁸.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований с использованием экстрагента Acorga M5774 и разбавителя Elixore 205 построены изотермы экстракции и реэкстракции меди. Построена модель процесса жидкостной экстракции с использованием данных изотерм. При этом извлечение меди составило 96,18% (при соотношении О/В – 1,1), с нагрузкой на реагент 79%.

Согласно полученным изотермам экстракции, построена зависимость трансфера железа с органической фазой от насыщения органической фазы медью. По этим данным насыщение на реагент в 79% перенос железа составляет всего несколько мг/дм³. Для отмывания железа от органической фазы применяется специальная стадия, если в продуктивных растворах содержание железа более 5–6 г/дм³. В противном случае высокоселективный экстрагент Acorga M5640 или Acorga M5774 легко справляется с задачей минимального переноса железа в электролит без стадии промывки.

Список источников

1. Алтушкин И. А., Череповицын А. Е., Король Ю. А. Практическая реализация механизма устойчивого развития в создании и становлении горно-металлургического холдинга медной отрасли России. М.: Из-во «Руда и Металлы», 2016. 227 с.
2. Селезнев А. И., Балинов С. В., Емельянов Ю. Е., Шкетова А. Е., Копылова Н. В. Оценка возможности извлечения меди и никеля из сульфидных продуктов методом кучного бактериального выщелачивания // Перспективы развития технологии переработки углеводородных, растительных и минеральных ресурсов: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Иркутск, 24–25 апреля 2014 г.). Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. С. 13–14.
3. Мартиросян В. А., Лисовская Ю. О., Сасунцян М. Э. Комплексное минералогическое исследование медных и молибденовых шлаков действующих металлургических заводов Армении // Вестник государственного инженерного университета Армении (политехник). Серия: Химические и природоохранные технологии. Архив 2014. Вып. 17. № 1. С. 86–95.
4. Ritcey G. M., Ashbrook A. W. Solvent extraction: principles and applications to process metallurgy. Part I. Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 172–206.
5. Меретуков М. А. Процессы жидкостной экстракции в цветной металлургии. М.: Изд-во «Металлургия», 1985. 222 с.
6. Меретуков М. А. Процессы жидкостной экстракции и ионообменной сорбции в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1978. 120 с.
7. Гиндин Л. М. Экстракционные процессы и их применение. М.: Изд-во «Наука», 1984. 144 с.
8. Травкин В. Ф., Заставный А. М. Экстракционные и сорбционные методы переработки окисленных медных руд. М.: Изд-во ЦНИИЦветмет экономики и ин-формации, 1980. 47 с.
9. Трейбал Р. Жидкостная экстракция / пер. с англ. М.: Изд-во «Химия», 1966. 724 с.
10. Хансон К. Последние достижения в области жидкостной экстракции / пер. с англ. М.: Изд-во «Химия», 1974. 448 с.
11. Коренман И. М. Экстракция в анализе органических веществ. М.: Изд-во «Химия», 1977. 200 с.
12. Dreisinger D. B. Copper leaching from primary sulfides: Options for biological and chemical extraction of copper // Hydrometallurgy. 2006. Vol. 83. Iss. 1. P. 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.03.032>.
13. Rodrigues L. E. O. C., Mansur M. B. Hydrometallurgical separation of rare earth elements, cobalt and nickel from spent nickel-metal-hydride batteries // Journal of Power Sources. 2010. Vol. 195. Iss. 11. P. 3735–3741. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.12.071>.
14. Xia Yun, Xiao Liansheng, Tian Jiying, Li Zhaoyang, Li Zeng. Recovery of rare earths from acid leach solutions of spent nickel-metal hydride batteries using solvent extraction // Journal of Rare Earths. 2015. Vol. 33. Iss. 12. P. 1348–1354. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(14\)60568-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(14)60568-8).
15. Вольдман Г. М. Основы экстракционных и ионообменных процессов гидрометаллургии. М.: Изд-во «Металлургия», 1982. 376 с.
16. Barnard K. R., Kelly N. J. Effect of long term exposure of aliphatic ELIXORE 205 diluent to acidic and oxidising conditions on copper extraction // Hydrometallurgy. 2017. Vol. 169. P. 362–371. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.02.025>.
17. Reddy B. R., Priya D. N. Solvent Extraction of Ni(II) from Sulfate Solutions with LIX 841: Flow-Sheet for the Separation of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) // Analytical Sciences. 2004. Vol. 20. Iss. 12. P. 1737–1740.

⁸Захарьян С. В. Исследование и разработка гидрометаллургической технологии переработки бедного медно-сульфидного сырья Жезказганского региона с извлечением меди и сопутствующих ценных компонентов сорбционным методом: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.02. Екатеринбург; Караганда, 2019. 362 с.

<https://doi.org/10.2116/ANALSCI.20.1737>.

18. Campderrós M. E., Acosta A., Marchese J. Selective separation of copper with Lix 864 in a hollow fiber module. 1998. Vol. 47. Iss. 1. P. 19–24. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(98\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(98)00048-4).

19. Каримова Л. М., Кан Д. Л., Кайралапов Е. Т. Изучение влияния природы разбавителей в экстракционной переработке раствора выщелачивания руды месторождения Нурказган Северного участка // Современные технологии производства цветных металлов: ма-

тер. Междунар. науч. конф., посвященной 80-летию С. С. Набойченко (г. Екатеринбург, 24–25 марта 2022 г.). Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2022. С. 93–98.

20. Cheng C. Y., Hughes C. A., Barnard K. R., Larcombe K. Manganese in copper solvent extraction and electrowinning // *Hydrometallurgy*. 2000. Vol. 58. Iss. 2. P. 135–150. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(00\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)00120-1).

21. Золотов Ю. А., Кузьмин Н. М. Экстракционное концентрирование. Л.: Изд-во «Химия», 1971. 272 с.

References

1. Altushkin I. A., Cherepovitsyn A. E., Korol' Yu. A. *Practical implementation of the sustainable development mechanism in the creation and development of a mining and metallurgical holding of the copper industry in Russia*. Moscow: Ruda i Metally; 2016, 227 p. (In Russ.).

2. Seleznev A. I., Balinov S. V., Emel'yanov Yu. E., Shketova A. E., Kopylova N. V. Evaluation of the recovery possibility of copper and nickel from sulfide products by heap bacterial leaching. In: *Perspektivy razvitiya tekhnologii pererabotki uglevodorodnykh, rastitel'nykh i mineral'nykh resursov: materialy IV Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem = Development prospects of the processing technology of hydrocarbon, plant and mineral resources: materials of the 4th All-Russian scientific and practical conference with international participation*. 24–25 April 2014, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2014, p. 13–14. (In Russ.).

3. Martirosyan V. A., Lisovskaya Yu. O., Sasuntsyan M. E. A complex mineralogical investigation of copper and molybdenum slags in the functioning metallurgical plants of Armenia. *Vestnik gosudarstvennogo inzhener'nogo universiteta Armenii (politekhnik)*. Seriya: Himicheskie i prirodohrannye tekhnologii = *Proceedings of State Engineering University of Armenia. Series: Chemical and environmental technologies*. 2014;17:1:86–95.

4. Ritcey G. M., Ashbrook A. W. *Solvent extraction: principles and applications to process metallurgy*. Part I. Amsterdam: Elsevier; 1984, p. 172–206.

5. Meretukov M. A. *Liquid extraction processes in non-ferrous metallurgy*. Moscow: Metallurgiya; 1985, 222 p. (In Russ.).

6. Meretukov M. A. *Liquid extraction processes and an ion-exchange sorption in non-ferrous metallurgy*. Moscow: Metallurgiya; 1978, 120 p. (In Russ.).

7. Gindin L. M. *Extraction processes and their application*. Moscow: Nauka; 1984, 144 p. (In Russ.).

8. Travkin V. F., Zastavny A. M. *Extraction and sorption processing methods of oxidized copper ores*. Moscow: Tsniitvetmet Economics and Information; 1980, 47 p. (In Russ.).

9. Treybal R. Liquid extraction, 1966, 724 p. (Russ. ed.: *Zhidkostnaya ekstrakciya*. Moscow, Himiya; 1966, 724 p.)

10. Hanson K. Recent advances in liquid extraction, 1974. 448 p. (Russ. ed.: *Poslednie dostizheniya v oblasti zhidkostnoj ekstrakcii*. Moscow, Himiya; 1974, 448 p.)

11. Korenman I. M. *Extraction in the organic substance analysis*. Moscow, Himiya; 1977, 200 p. (In Russ.).

12. Dreisinger D. B. Copper leaching from primary sulfides: Options for biological and chemical extraction of copper. *Hydrometallurgy*. 2006;83(1):10–20. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.03.032>.

13. Rodrigues L. E. O. C., Mansur M. B. Hydrometallurgical separation of rare earth elements, cobalt and nickel from spent nickel-metal-hydride batteries. *Journal of Power Sources*. 2010;195(11):3735–3741. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.12.071>.

14. Xia Yun, Xiao Liansheng, Tian Jiying, Li Zhaoyang, Li Zeng. Recovery of rare earths from acid leach solutions of spent nickel-metal hydride batteries using solvent extraction // *Journal of Rare Earths*. 2015;33(12):1348–1354. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(14\)60568-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(14)60568-8).

15. Vol'dman G. M. *Fundamentals of extraction and ion exchange processes in hydrometallurgy*. Moscow: Metallurgiya; 1982, 376 p. (In Russ.).

16. Barnard K. R., Kelly N. J. Effect of long term exposure of aliphatic ELIXORE 205 diluent to acidic and oxidising conditions on copper extraction. *Hydrometallurgy*. 2017;169:362–371.

<https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2017.02.025>.

17. Reddy B. R., Priya D. N. Solvent extraction of Ni(II) from sulfate solutions with LIX 841: flow-sheet for the separation of Cu(II), Ni(II) and Zn(II). *Analytical Sciences*. 2004;20(12):1737–1740. <https://doi.org/10.2116/ANALSCI.20.1737>.

18. Campderrós M. E., Acosta A., Marchese J. Selective separation of copper with Lix 864 in a hollow fiber module. 1998;47(1):19–24. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(98\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(98)00048-4).

19. Karimova L. M., Kan D. L., Kajralapov E. T. Studying the effect of the diluter nature in the leaching solution extraction processing of the ore from the Nurkazgan deposit of the Northern section. In: *Sovremennye tekhnologii proizvodstva cvetnykh metallov: materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 80-letiyu S. S. Nabojchenko = Modern production technologies of non-ferrous metals: materials of the International scientific conference dedicated to the 80th anniversary of S.S. Naboychenko*. 24–25 March 2022, Ekaterinburg. Ekaterinburg: 2022, p. 93–98. (In Russ.).

20. Cheng C. Y., Hughes C. A., Barnard K. R., Larcombe K. Manganese in copper solvent extraction and electrowinning. *Hydrometallurgy*. 2000;58(2):135–150. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(00\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)00120-1).

21. Zolotov Yu. A., Kuz'min N. M. *Extraction concentration*. Leningrad: Himiya; 1971, 272 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Каримова Люция Монировна,
доктор технических наук, доцент,
начальник Лаборатории металлургии,
ТОО «КазГидроМедь»,
100000, г. Караганда, ул. Московская, 4,
Республика Казахстан

Аргын Айдар,
докторант,
НАО "КазННТУ им. К. И. Сатпаева"
050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22,
Республика Казахстан

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 01.07.2022; одобрена после рецензирования 03.08.2022; принята к публикации 07.09.2022.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyutsiya M. Karimova,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Metallurgy Laboratory,
KazHydroMed LLP,
4, Moskovskaya St., Karaganda 100000,
Republic of Kazakhstan

Aidar Argyn,
Doctoral Student,
NCJS KazNRTU named after K.I. Satbayev,
22, Satbaev St., Almaty 050000,
Republic of Kazakhstan

Contribution of the authors

The authors contributed equally to the preparation of the article.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 01.07.2022; approved after reviewing 03.08.2022; accepted for publication 07.09.2022.