

Т. П. Белова (к.т.н., доц.), Л. С. Авфукова (м.н.с.), Т. И. Ратчина (вед.инж.)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, СООТНОШЕНИЯ ФАЗ И ПРИСУТСТВИЯ КАЛЬЦИЯ НА ЭКСТРАКЦИЮ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ВЕРСАТИКОВОЙ КИСЛОТОЙ

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения РАН
683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, д. 30, а/я 56; e-mail: nigtc@nigtc.ru

T. P. Belova, L. S. Avfukova, T. I. Ratchina

INFLUENCE OF TEMPERATURE, RATIO OF PHASE AND THE PRESENCE OF CALCIUM ON EXTRACTION OF NON-FERROUS METALS BY VERSATIC ACID

Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of RAS
30, Severo-Vostochnoe Shosse Str., PO Box 56, 683002, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia; e-mail: nigtc@nigtc.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований экстракции версатиковой кислотой в керосине (*Versatic Acid 10*) никеля, меди и кобальта из модельных растворов, имитирующих продуктивные растворы бактериально-химического выщелачивания сульфидных кобальт-медно-никелевых руд месторождения Шануч (Камчатка). Установлено влияние температуры, соотношения органической и водной фаз (О/В) и состава раствора на полноту экстракции. Доказано, что оптимальным соотношением О/В является 1:10. Показано, что наиболее целесообразна переработка продуктивных растворов в два этапа. На первом этапе при температуре 40 °С и pH = 7.0 происходит удаление меди, на втором при температуре 60 °С и pH = 9.0 извлекаются никель на 99.6–99.9 % и кобальт на 67.8–72.5 %. Для более полного извлечения кобальта на втором этапе рекомендуется добавить еще одну ступень при этих же условиях.

Ключевые слова: версатиковая кислота; кобальт; медь; никель; сульфидные кобальт-медно-никелевые руды; экстракция.

В промышленности широко используется экстракция цветных металлов из растворов различного состава. Она имеет несомненные преимущества по сравнению с методами осаждения и фильтрации. Современные экстракционные технологии направлены на получение особо чистых соединений металлов, спрос на которые возрастает с каждым годом. При бактериально-химическом выщелачивании сульфидных кобальт-медно-никелевых руд полу-

The article presents the experimental data obtained in the experimental research of extraction using versatic acid (*Versatic Acid 10*) in kerosene of nickel, copper and cobalt from model solutions imitating of productive solutions of bacterial-chemical leaching of sulfide cobalt-copper-nickel ores of the Shanuch deposit (Kamchatka). The temperature effect, ratio of organic and aqueous phases (O/W) and composition of solution on completeness of extraction were established. It was proved that optimal O/W ratio is 1:10. It was shown that processing of productive solutions in two stages the most appropriate. At the second stage at a temperature of 60 °C and pH = 9.0, nickel for 99.6–99.9 % and cobalt for 67.8–72.5 % are recovered. At the first stage at a temperature of 40 °C and pH = 7.0 the copper removal occurs. At the second stage for a more complete of cobalt removal, one more stage under the same conditions is recommended to add.

Key words: cobalt; copper; extraction; nickel; sulfide cobalt-copper-nickel ores; versatic acid.

чаются растворы сложного состава, содержащие наряду с целевыми компонентами побочные продукты, концентрации которых, как правило, существенно превышают целевые. Это, в первую очередь, железо и магний, входящие в состав руды, а также кальций, которым обогащаются растворы на первой ступени переработки.

Нерешенной проблемой остается прямое экстракционное концентрирование никеля и кобальта из сульфатных растворов выщелачивания, содержащих примеси железа.

Дата поступления 17.06.21

Для экстракции никеля, меди и кобальта часто применяют промышленные экстрагенты, такие как *LIX 64*, *LIX 664N*, *LIX 54*, *LIX 84-ICNS*, *Cyanex 272*, *INET-3*, *Versatic Acid 10* и др.

Применение жидкостно-эмульсионной мембраны (ЖЭМ), состоящей из *LIX 664N* в качестве экстрагента, растворенного в керосине и *Span 80* в качестве поверхностно-активного вещества оказалось эффективным при извлечении меди ¹. Концентрирование меди составило 11.6 раз при времени контакта 10 мин, скорости перемешивания 300 об/мин и соотношении органической и водной фаз (О/В), равном 6:1. Использование ЖЭМ, состоящей из β -дикетона *LIX 54* в качестве экстрагента, сесквиолеата, который является неионогенным поверхностно-активным веществом для извлечения меди показало ², что извлечение меди достигает 96–100 %, и 40-кратное концентрирование достигнуто в результате реэкстракции серной кислотой.

Извлечение никеля и кобальта из модельных аммиачных растворов, имитирующих раствор процесса Сагон, изучали методом жидкостной экстракции с использованием *LIX 84-ICNS* ³. Высокие степени извлечения никеля и кобальта — 99.8 и 90.3 %, соответственно, были получены при равновесном pH 8.75, температуре 55 °С, концентрации экстрагента 40% по объему, соотношении О/В, равном 1/1. Извлечение более 99.9% никеля может быть получено в 2 этапа.

Исследование структуры металлоорганических комплексов между никелем, кобальтом и экстрагентами *Cyanex 272*, *Versatic 10* и их смесями показало, что комплексы никеля проявляют октаэдрическую координационную конфигурацию во всех исследованных органических фазах. Комплекс кобальта с *Versatic 10* имеет октаэдрическую координацию, а с *Cyanex 272* и со смесью экстрагентов — тетраэдрическую структуру ⁴.

Для разделения кобальта и никеля из сульфатных растворов была исследована экстракция их несимметричной диалкилфосфиновой кислотой *INET-3*, которая обладает отличными характеристиками и в основном применяется при экстракции и разделении тяжелых РЗЭ. Результаты сравнения показывают ⁵, что *INET-3* имеет более высокую экстракционную способность для кобальта и никеля, чем *Cyanex 272*, и более слабую, чем *MEXTRAL 507P*. Для систем с соотношением Ni:Co $\leq$ 81:1 селективность *INET-3* убывает в порядке $Zn^{2+} > Cu^{2+} > Mn^{2+} > Co^{2+} > Mg^{2+} \approx Ni^{2+} > Ca^{2+}$.

В работе ⁶ авторами исследована экстракция комплексных соединений меди, никеля, кобальта и железа с триэтаноламином и версатиковой кислотой из индивидуальных сульфатных растворов. Установлено, что при соотношении органической и водной фаз 1:1 достигнута высокая степень извлечения, % мас.: Ni — 98.0; Cu — 99.2; Co — 97.7; Fe — 99.6. Реэкстракцию проводили в течение 3–5 мин 20%-ной серной кислотой. При этом реэкстракция меди и кобальта проходит практически полностью, на 99.8 и 99.9 %, соответственно. Железо переходит в водную фазу на 92.7%, а никель — на 67.6% за одну стадию.

Экстракция цветных металлов и железа из модельных сульфатных растворов смесью триэтаноламина (ТЭА) и версатиковой кислоты (ВК) в керосине или смесью ТЭА и олеиновой кислоты (ОК) в керосине исследована в работе ⁷. Авторами получены зависимости степени извлечения и коэффициентов распределения цветных металлов и железа от pH водной фазы. Показано, что медь и железо максимально экстрагируются ВК и ТЭА в керосине в диапазоне pH = 3.0–4.0, а никель и кобальт — при pH = 9.0. В то же время, при использовании в качестве экстрагента ОК и ТЭА в керосине во всем диапазоне pH медь, никель, кобальт и железо экстрагируются одновременно.

Ранее авторами было установлено, что при осаждении железа из продуктивного раствора с использованием карбоната кальция ⁸ содержание ионов кальция в растворе может достигать 0.61 г/л. Это может быть обусловлено тем, что сульфат кальция, имея довольно высокое значение произведения растворимости ($PP = 2.5 \cdot 10^{-5}$), частично растворяется; кроме этого, в многокомпонентных растворах на растворимость оказывает влияние солевой эффект. Наличие кальция может влиять на полноту экстракции. Для практического использования экстракции необходимы сведения об оптимальных параметрах экстракции, порядка экстрагируемости, полноты экстракции, распределения металлов между органической и водной фазами и др.

Целью настоящей работы является установление влияния соотношения фаз, температуры, pH и содержания кальция на полноту экстракции цветных металлов из модельных растворов, имитирующих продуктивные растворы бактериально-химического выщелачивания кобальт-медно-никелевых руд с использованием *Versatic Acid 10*.

Материалы и методы исследования

Модельные растворы готовили таким образом, чтобы они содержали все основные элементы, присутствующие в продуктивных растворах после чанового выщелачивания. В них дополнительно вводили хлорид натрия для поддержания ионной силы, pH основных растворов доводили серной кислотой до 2, что соответствовало реальным продуктивным растворам. Для приготовления основного модельного раствора в дистиллированной воде растворяли соли каждого металла: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ч.д.а. ГОСТ 4165-78) 400 мг/л; $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (х.ч. ГОСТ 4528-78) 4000 мг/л; $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (ч.д.а. ГОСТ 4462-78) 200 мг/л; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (х.ч. ГОСТ 4523-77) 500 мг/л; CaCO_3 (ч.д.а. ГОСТ 4530-76) 500 мг/л; NaCl (х.ч. ГОСТ 4233-77).

Основные модельные растворы перед проведением экстракции разбавляли в 5 раз и доводили pH до 7.0 гидроксидом аммония. Состав основных 1(О) и 2(О) и рабочих 1(Р) и 2(Р) модельных растворов представлен в (табл. 1). Основные и рабочие растворы отличались содержанием кальция. В растворы также вводили хлорид натрия для поддержания ионной силы аналогичной показателям продуктивных растворов.

Таблица 1

Состав основных и рабочих модельных растворов

№	pH	Ni, мг/л	Cu, мг/л	Co, мг/л	Mg, мг/л	Ca, мг/л
1(О)	2.03	4000±560	400±52	200±60	500±55	-
2(О)	2.02	4000±560	400±52	200±60	500±55	500±35
1(Р)	7.0	764±107	85.2±11.1	39.2±11.8	101±11	-
2(Р)	7.0	773±108	82.3±10.7	40.4±12.1	110±12	78.0±5.5

Для изучения процессов экстракции использовали 20%-ный раствор версатиковой кислоты (ВК) в керосине. ВК – *Versatic* (TM) *Acid 10 (Hexion)*, 2-этил-2,5-диметилгексановая кислота, предоставленная компанией «НЕО КЕМИКАЛ», представляла собой прозрачную жидкость, плотностью 0.91 кг/дм³, кислотное число 318–330 мг КОН/г, растворимость в воде при 60 °С 0.17 г/л, константа диссоциации $K_a = 0.63 \cdot 10^{-4}$. В качестве инертного растворителя использовали керосин ГОСТ 10227-86 плотность 0.81 кг/дм³.

Содержание катионов меди, никеля и кобальта в растворах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии, используя АА-6300 фирмы «Shimadzu» (Япония), с применением метода атомизации в ацетилено-воздушном пламени по стандартным методикам^{9, 10}. Кислотность растворов контролировали с исполь-

зованием иономера «Эксперт-001» с универсальным электродом ЭСК-10601/7 с точностью не хуже, чем ±0.03 ед. pH.

Модельные рабочие растворы 1(Р) и 2(Р) приводили в соприкосновение с 20% ВК в керосине при объемном соотношении органической и водной фаз (О/В) 1:3, 1:5, 1:10. Первоначально изучали зависимость параметров экстракции от температуры. Экстракцию проводили при постоянном встряхивании в течение 10 мин при 10, 20, 40, 60, 80 °С. Температуру водяной бани поддерживали с точностью ±0.2 °С. После охлаждения и разделения органической и водной фаз рафинаты анализировали на содержание ионов меди, никеля, кобальта, магния, кальция.

Результаты экстракции оценивали по равновесной концентрации металлов в водной фазе. Коэффициент распределения D рассчитывали по уравнению:

$$D = C_{орг}/C_{вод};$$

E – извлечение, как массовую долю от исходного содержания:

$$E = (C_0 - C_t) \cdot 100 / C_0,$$

где C_0 и C_t начальная и равновесная концентрации ионов металла, соответственно.

Константу скорости экстракции рассчитывали по формуле:

$$K = - \frac{2.303}{(t_2 - t_1)} \lg \frac{[Me]_1}{[Me]_2} \quad (1)$$

где K – константа скорости экстракции, с⁻¹;

$[Me]_1$ и $[Me]_2$ – концентрации ионов металла в исходном растворе и в состоянии равновесия, соответственно.

Результаты и их обсуждение

На основании анализа экспериментальных данных установлено, что вне зависимости от температуры, состава раствора и соотношения фаз О/В при pH = 7.0 происходит в основном извлечение меди и незначительного количества кобальта, при этом никель полностью остается в рафинате. Так, при температуре 10 °С при экстракции из растворов, не содержащих кальция, при соотношении О/В = 1:3 медь извлекается на 87.1%, кобальт – на 3.32%. При О/В = 1:5 медь извлекается на 84.5%, кобальт – на 3.32%. При О/В = 1:10 извлечение меди составляет 85.0%, а извлечение кобальта повышается до 6.12%. В присутствии кальция в этих же условиях происходит

незначительное снижение извлечения меди при О/В 1:3 и 1:5 и более значительное снижение до величины 69.0% при О/В = 1:10. Но извлечение кобальта повышается до значений 8.91–12.6 %. При температуре 20 °С при экстракции из растворов, не содержащих кальция, при соотношении О/В = 1:3 медь извлекается на 83.9%, кобальт на – 10.5%. При О/В = 1:5 медь извлекается на 76.3%, при О/В = 1:10 – на 77.7%. В присутствии кальция в этих же условиях происходит дальнейшее снижение извлечения меди до 75.7% при всех соотношениях фаз. Наименьшее извлечение кобальта происходит при О/В = 1:5 и составляет 1.98%.

При повышении температуры до 40 °С извлечение меди и кобальта остается на прежних

уровнях, при этом влияние кальция становится менее значимым. При дальнейшем повышении температуры до 60 °С извлечение меди остается на уровне 83.5–86.3 %, но извлечение кобальта повышается до 19.8–26.3 %. Подобную тенденцию наблюдали и при повышении температуры до 80 °С. Таким образом, экстракция при значении рН = 7.0 позволяет существенно снизить концентрацию меди в рафинате.

Затем в рафинате повысили рН до 9.0±0.1 и проводили экстракцию в условиях, описанных выше, анализируя извлечение никеля, кобальта и меди, оставшейся после первой экстракции (табл. 3). Так, при температуре 10 °С из растворов, не содержащих кальция, при соотношении О/В = 1:3 никель из-

Таблица 2

Зависимость степени извлечения ионов металлов от соотношения фаз О/В, температуры и состава раствора при рН=7.0

О/В	t° С	E, %								
Шифр раствора		1(P)				2(P)				
Компонент		Ni	Cu	Co	Mg	Ni	Cu	Co	Mg	Ca
1:3	10	–	87.1	3.32	1.68	–	83.1	12.6	3.64	–
1:5		–	84.5	3.32	4.55	–	82.4	8.91	2.73	–
1:10		–	85.0	6.12	7.52	–	69.7	9.65	3.64	–
1:3	20	–	83.9	10.5	26.6	–	75.8	3.50	0.91	–
1:5		–	76.3	н/о	н/о	–	76.8	1.98	н/о	–
1:10		–	77.7	н/о	н/о	–	74.6	3.96	н/о	–
1:3	40	–	69.8	5.36	10.6	–	85.3	1.98	н/о	–
1:5		–	85.9	2.55	6.36	–	84.4	н/о	н/о	–
1:10		–	87.0	2.30	6.73	–	86.1	3.96	2.73	–
1:3	60	–	85.0	23.5	2.70	–	85.5	24.8	23.2	–
1:5		–	85.1	26.3	18.9	–	86.3	19.8	24.2	–
1:10		–	83.5	20.9	23.1	–	84.1	21.8	26.4	–
1:3	80	–	81.9	18.1	28.7	–	84.2	19.8	28.4	–
1:5		–	84.3	16.1	27.9	–	86.9	16.8	26.5	–
1:10		–	80.8	14.5	28.7	–	86.5	16.8	27.4	–

Примечание: «–» – ионы металла в растворе отсутствуют;

н/о – содержание ионов металла не определяли

Таблица 3

Зависимость степени извлечения ионов металлов от соотношения фаз О/В, температуры и состава раствора рН=9.0

О/В	t° С	E, %							
Шифр раствора		1(P)				2(P)			
Компонент		Ni	Cu	Co	Mg	Ni	Cu	Co	Mg
1:3	10	89.8	12.3	79.3	1.68	95.1	16.3	81.2	4.55
1:5		88.2	14.9	74.3	3.47	76.2	13.2	56.2	5.45
1:10		80.4	12.4	56.6	0.59	82.9	25.8	54.7	1.82
1:3	20	99.9	15.5	76.7	1.88	86.3	23.6	68.8	0.91
1:5		87.7	23.1	69.9	2.57	89.7	22.6	73.0	3.64
1:10		72.3	21.7	44.1	0.99	88.9	24.8	76.1	0.91
1:3	40	70.2	27.2	39.3	0.30	95.6	14.1	86.2	4.55
1:5		95.9	13.5	86.0	1.66	95.8	14.9	80.0	8.18
1:10		86.4	12.4	65.1	1.98	92.8	13.2	76.2	4.55
1:3	60	99.9	14.4	75.3	7.20	99.7	13.9	74.0	12.6
1:5		99.9	14.0	72.4	7.30	99.9	13.1	79.0	8.10
1:10		99.9	16.0	72.5	0.40	99.6	15.3	67.8	3.30
1:3	80	99.2	17.5	74.6	6.00	99.6	15.2	72.2	8.70
1:5		99.9	15.1	75.5	8.70	99.9	12.5	70.7	6.60
1:10		99.9	18.7	72.7	3.10	99.9	12.9	71.3	8.00

Таблица 4

**Суммарная емкость органической фазы
в зависимости от О/В, pH, температуры
и состава раствора**

О/В	T, °C	Емкость органической фазы, мг-экв/мл			
Шифр раствора		1(P)	2(P)	1(P)	2(P)
pH		pH=7.0	pH=7.0	pH=9.0	pH=9.0
1	2	3	4	5	6
1:3	10	0.008	0.008	0.075	0.081
1:5		0.013	0.013	0.123	0.112
1:10		0.030	0.023	0.221	0.234
1:3	20	0.014	0.006	0.083	0.073
1:5		0.010	0.010	0.123	0.128
1:10		0.021	0.020	0.201	0.252
1:3	40	0.008	0.007	0.059	0.081
1:5		0.014	0.011	0.133	0.137
1:10		0.029	0.020	0.239	0.262
1:3	60	0.008	0.014	0.084	0.086
1:5		0.021	0.023	0.140	0.142
1:10		0.044	0.049	0.274	0.279
1:3	80	0.014	0.015	0.083	0.085
1:5		0.024	0.024	0.141	0.141
1:10		0.047	0.049	0.277	0.284

влекается на 89.8%, кобальт — на 79.3%. При О/В = 1:5 никель извлекается на 88.2%, кобальт на - 74.3%. При О/В = 1:10 извлечение никеля составляет 80.4%, а извлечение кобальта понижается до 56.6%. В то же время происходит дальнейшее извлечение меди, она дополнительно экстрагируется на 12.3–14.9 %. В присутствии кальция в этих же условиях происходит увеличение извлечения никеля, кобальта и меди при О/В = 1:3. При соотношении О/В = 1:10 в присутствии кальция увеличение извлечения выражено слабее, , но при О/В = 1:5 наблюдалось некоторое снижение извлечения. При температуре 20 °С при экстракции из растворов, не содержащих кальций, при соотношении О/В = 1:3 никель извлекается на 99.9%, кобальт — на 76.7%. При увеличении количества водной фазы степень извлечения для никеля и кобальта снижается. В присутствии кальция, в этих же условиях, тенденция сохраняется. Также происходит дальнейшее извлечение меди, которая дополнительно экстрагируется на 15.5–21.7 % из растворов, не содержащих кальций и на 22.6–24.8 % из содержащих кальций растворов. Извлечение никеля на 99.9% за одну стадию происходит при 60 и 80 °С, извлечение кобальта остается на уровне 72–78 %, меди — на 14.0–18.7 %. В присутствии кальция эти значения снижаются, но возрастает извлечение магния, что является нежелательным. Кроме того, увеличивается энергоемкость, и при повышенной температуре возможен унос растворителя из органической фазы.

Значения суммарной емкости органической фазы в мг-экв/мл представлены в табл. 4. Максимальное насыщение органической фазы, происходит при pH = 9.0, соотношении О/В = 1:10 и температурах 60 и 80 °С, его величина равна 0.274–0.277 мг-экв/мл при экстракции из раствора, не содержащего кальций, в присутствии кальция емкость органической фазы равна 0.279–0.284 мг-экв/мл. Экстракция при pH = 7.0 проходит менее интенсивно, максимальная емкость органической фазы наблюдается при соотношении О/В = 1:10, и температуре 60 и 80 °С и составляет 0.044–0.047 мг-экв/мл для раствора без кальция. В присутствии кальция эта величина составляет 0.049 мг-экв/мл.

Таким образом, на основании анализа экспериментальных данных схема переработки продуктивных растворов бактериально-химического выщелачивания кобальт-медно-никелевых руд должна состоять из двух этапов. На первом этапе экстракцию следует проводить при pH = 7.0, соотношении О/В = 1:10 и температуре 40 °С. При этом извлекается, %: меди — 87.0 и 86.1; кобальта — 2.30 и 3.96; магния — 6.73 и 2.73 из растворов без кальция и с кальцием, соответственно. Главной задачей первого этапа является удаление основной части меди, коэффициент распределения которой составил 66.8 и 62.2 при экстракции из растворов без кальция и с кальцием, соответственно. Константы скорости экстракции, рассчитанные по уравнению (1), составили, с⁻¹: для меди — $1.48 \cdot 10^{-3}$ и $1.43 \cdot 10^{-3}$; кобальта — $1.70 \cdot 10^{-5}$ и $0.7 \cdot 10^{-5}$ из растворов без кальция и с кальцием, соответственно.

На втором этапе экстракцию следует проводить при pH = 9.0, соотношении О/В = 1:10 и температуре 60 °С. При этом за одну стадию происходит практически полное (99.6–99.9 %) извлечение никеля и 67.8–72.5 % кобальта. Коэффициенты распределения составили: для никеля — 15270 и 2790; для кобальта — 110 и 65 при экстракции из растворов без кальция и с кальцием, соответственно. Для более полного извлечения кобальта следует применить вторую ступень экстракции в этих же условиях.

Литература

1. Kumar R., Shah D.J., Tiwari K. K. Extraction and Enrichment of Copper by Liquid Emulsion Membrane Using *LIX* 664N // *Journal of Environmental Protection*.— 2014.— V.5, №17.— Pp.1611-1617.
2. Mohamed Y.T., Ibrahim A.M.H. Extraction of Copper from Waste Solution Using Liquid Emulsion Membrane // *Journal of Environmental Protection*.— 2012.— V.3, №1.— Pp.129-134.
3. Mubarak M.Z., Yunita F.E. Solvent Extraction of Nickel and Cobalt from Ammonia-Ammonium Carbonate Solution by Using *LIX* 84-ICNS // *International Journal of Nonferrous Metals*.— 2015.— V.4, №3.— Pp.15-27.
4. Santanilla A.J.M., Aliprandini P., Benvenuti J., Tenorio J.A.S., Espinosa D.C.R. Structure investigation for nickel and cobalt complexes formed during solvent extraction with the extractants Cyanex272, Versatic 10 and their mixtures // *Minerals Engineering*.— 2021.— V.160, №1.— 10 pp.
5. Jiashuai Fu, Wen Xu, Fengshan Yu, Huajun Wang, Junlian Wang. Evaluation of an unsymmetrical dialkylphosphinic acid INET-3 for cobalt and nickel extraction and separation from sulfate solutions // *Minerals Engineering*.— 2020.— V.156, №1.— 7 p.
6. Белова Т.П., Ратчина Т.И., Ершова Л.С. Экстракция ионов никеля, меди, кобальта и железа смесью триэтанолamina и версатиковой кислоты в керосине // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*.— 2018.— №S57.— С.154-161.
7. Ратчина Т.И., Ершова Л.С., Белова Т.П. Исследование экстракции цветных металлов и железа из сульфатных растворов версатиковой и олеиновой кислотами // *Баш. хим. ж.*— 2020.— Т.27, №2.— С.81-85.
8. Белова Т.П., Ершова Л.С., Ратчина Т.И. Осаждение железа из продуктивных растворов бактериально-химического выщелачивания кобальт-медно-никелевых руд с использованием карбоната кальция // *Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал)*. Отдельный выпуск «Камчатка-5».— 2017.— С.210-215.
9. Методика количественного химического анализа. Определение меди, цинка, кадмия, висмута, сурьмы, свинца, никеля, железа и марганца атомно-абсорбционным методом в сыпучих материалах. Методика №155-XC-1 ФГУП ВИМС.— Москва, 2006.— 26 с.
10. Методика количественного химического анализа. Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках. М-03-505-119-03 ФГУП РНЦ «Прикладная химия». Санкт-Петербург, 2003.— 25 с.

References

1. Kumar R., Shah D.J., Tiwari K. K. [Extraction and Enrichment of Copper by Liquid Emulsion Membrane Using *LIX* 664N]. *Journal of Environmental Protection*, 2014, vol.5, no.17, pp.1611-1617.
2. Mohamed Y.T., Ibrahim A.M.H. [Extraction of Copper from Waste Solution Using Liquid Emulsion Membrane]. *Journal of Environmental Protection*, 2012, vol.3, no.1, pp.129-134.
3. Mubarak M.Z., Yunita F.E. [Solvent Extraction of Nickel and Cobalt from Ammonia-Ammonium Carbonate Solution by Using *LIX* 84-ICNS]. *International Journal of Nonferrous Metals*, 2015, vol.4, no.3, pp.15-27.
4. Santanilla A.J.M., Aliprandini P., Benvenuti J., Tenorio J.A.S., Espinosa D.C.R. [Structure investigation for nickel and cobalt complexes formed during solvent extraction with the extractants Cyanex272, Versatic 10 and their mixtures]. *Minerals Engineering*, 2021, vol.160, no.1, 10 pp.
5. Jiashuai Fu, Wen Xu, Fengshan Yu, Huajun Wang, Junlian Wang. [Evaluation of an unsymmetrical dialkylphosphinic acid INET-3 for cobalt and nickel extraction and separation from sulfate solutions]. *Minerals Engineering*, 2020, vol.156, no.1, 7 p.
6. Belova T.P., Ratchina T.I., Ershova L.S. *Ekstraktsiya ionov nikelya, medi, kobal'ta i zheleza smes'yu trietanolamina i versatikovoy kisloty v kerosine* [Extraction of nickel, copper, cobalt and iron ions with a mixture of triethanolamine and versatic acid in kerosene]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and analytical bulletin], 2018, no.S57, pp.154-161.
7. Ratchina T.I., Ershova L.S., Belova T.P. *Issledovaniye ekstraktsii tsvetnykh metallov i zheleza iz sul'fatnykh rastvorov versatikovoy i oleinovoy kislotami* [Investigation of the extraction of non-ferrous metals and iron from sulfate solutions with versatic and oleic acids]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2020, vol.27, no.2, pp.81-85.
8. Belova T.P., Ershova L.S., Ratchina T.I. *Osazhdeniye zheleza iz produktivnykh rastvorov bakterial'no-khimicheskogo vyshchelachivaya kobal't-medno-nikelevykh rud s ispol'zovaniyem karbonata kal'tsiya* [Sedimentation of iron from productive solutions of bacterial-chemical leaching of cobalt-copper-nickel ores using calcium carbonate]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining information and analytical bulletin], Special Issue «Kamchatka-5», 2017, pp.210-215.
9. [Quantitative chemical analysis technique. Determination of copper, zinc, cadmium, bismuth, antimony, lead, nickel, iron and manganese by the atomic absorption method in bulk materials]. Method No. 155-XC-1 FSUE VIMS. Moscow, 2006, 26 p.
10. [Quantitative chemical analysis technique. Determination of metals in drinking, mineral, natural, waste water and precipitation]. М-03-505-119-03 FSUE RRC «Applied Chemistry». St. Petersburg, 2003, 25 p.