

## Металлургия и обогащение

УДК 669.53

# ЭКСТРАКЦИЯ ИОНОВ МЕДИ, КОБАЛЬТА И НИКЕЛЯ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭКСТРАГЕНТОМ МАРКИ CYANEX 272

**Л.А.ВОРОПАНОВА, В.П.ПУХОВА***Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),  
Владикавказ, Россия*

Экстрагент марки CYANEX 272, активным компонентом которого является ди(2,4,4-триметилпентил)-фосфиновая кислота ( $C_8H_{17})_2POOH$ , эффективен для экстракции ионов меди (II), кобальта (II) и никеля (II). Извлечение ионов металлов с использованием в качестве экстрагента ди(2,4,4-триметилпентил)-фосфиновой кислоты осуществляется за счет образования фосфорорганического комплекса в широком диапазоне pH: медь при pH > 2, кобальт при pH > 3, никель при pH > 5. При этом экстрагируются органической фазой: медь при pH = 3-7, кобальт при pH = 4-7, никель при pH = 6-9, а осаждаются в составе фосфорорганического соединения: медь при pH > 7, кобальт при pH ≥ 8, никель при pH ≥ 10. Возможность разделения меди (II) и кобальта (II) незначительна, разделение меди (II) и никеля (II) происходит при pH = 4-6, а разделение кобальта (II) и никеля (II) – при pH = 5-6.

Полученные результаты экстракции ионов исследованных металлов могут быть использованы не только для переработки технологических растворов, но также для очистки стоков промышленных предприятий от рассматриваемых ионов металлов, шахтных и рудничных вод, растворов кучного и подземного выщелачивания и т.п.

**Ключевые слова:** водный раствор; экстракция; экстрагент; медь; кобальт; никель

**Как цитировать эту статью:** Воропанова Л.А. Экстракция ионов меди, кобальта и никеля из водных растворов экстрагентом марки Cyanex 272 / Л.А.Воропанова, В.П.Пухова // Записки Горного института. 2018. Т. 233. С. 498-505. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.498

**Введение.** Экстракция кобальта из растворов никеля алкилфосфиновыми кислотами в значительной мере представлена в литературе. Известно, что для извлечения ионов кобальта из водных растворов сульфатов и хлоридов никеля эффективна экстракция экстрагентом марки CYANEX 272, активным компонентом которого является ди(2,4,4-триметилпентил)-фосфиновая кислота ( $C_8H_{17})_2POOH$  [1-13]. Металлы экстрагируются посредством механизма обмена катионами. Экстрагент CYANEX 272 полностью смешивается с ароматическими и алифатическими растворителями и очень устойчив в отношении нагревания и гидролиза, проявляет высокую селективную способность по отделению кобальта от никеля, как в сульфатной, так и в хлоридной среде, практически слабо экстрагирует ионы кальция, что исключает образование гипсовых загрязнений, которые могут появляться в цикле жидкостного экстрагирования.

Известно, что кобальт селективно экстрагируется из растворов соли никеля в узком интервале: pH ≈ 5. Однако извлечение меди, кобальта и особенно никеля при их совместном присутствии в растворе, а также извлечение примесей меди и кобальта из растворов макропримесей солей никеля мало изучено. Не исследованы процессы взаимодействия экстрагента с растворами солей при pH > 7.

**Материалы и методы исследования.** Задачами данного исследования являются нахождение оптимальных условий селективного и совместного извлечения меди, кобальта и никеля экстракцией

экстрагентом марки CYANEX 272 и реэкстракцией из растворов сложного состава, а также условий извлечения примесей меди и кобальта из растворов макропримесей солей никеля, в том числе с использованием керосина в качестве разбавителя экстрагента, исследование процессов взаимодействия экстрагента с растворами солей при pH > 7.

Для приготовления растворов использовали кристаллогидраты солей  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $CoSO_4 \cdot 7H_2O$  и  $NiCl_3 \cdot 7H_2O$ . Экстракцию осуществляли при перемешивании и регулировании постоянной величины pH, в качестве нейтрализаторов использовали растворы  $NaOH$  и  $H_2SO_4$ . Эксперименты проводили при комнатной температуре.

На рис.1 приведена схема приборов для проведения экстракции и реэкстракции.

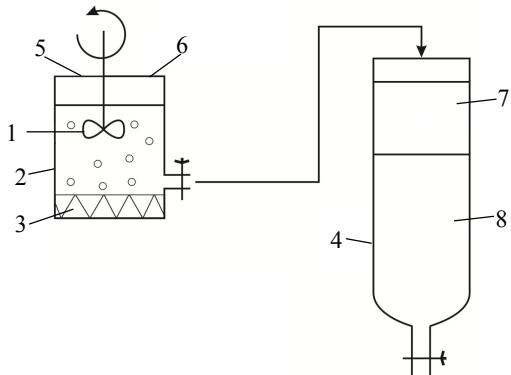


Рис.1. Схема приборов для проведения экстракции

1 – мешалка; 2 – стакан; 3 – нагреватель;  
4 – длительная воронка; 5 – исходный раствор;  
6 – экстрагент; 7 – экстракт; 8 – рафинат

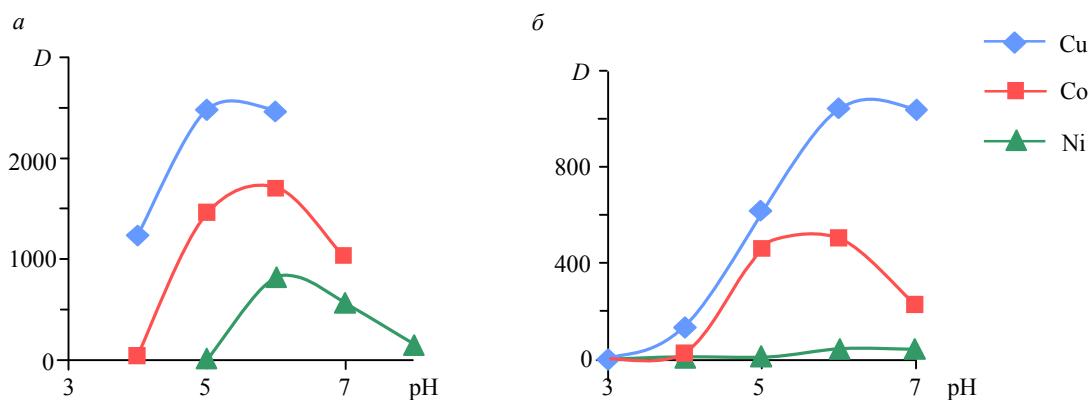


Рис.2. Зависимость коэффициента распределения  $D$  от величины pH раствора солей  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CoSO}_4$  и  $\text{NiSO}_4$ :  
*a* – из индивидуальных растворов; *б* – из растворов смеси солей

Стакан с исходным раствором, содержащим экстрагируемые ионы, и экстрагентом помещали на нагреватель для нагрева смеси до заданной температуры. Для лучшего массообмена содержимое стакана перемешивали мешалкой в течение заданного времени. Затем смесь переносили в делительную воронку, где смесь отстаивалась и разделялась на экстракт и рафинат. После отстаивания рафинат, а затем экстракт через нижнее выходное отверстие делительной воронки сливали в отдельные емкости и анализировали.

Результаты экстракции оценивали остаточной концентрацией  $C$  (в граммах на кубический дециметр) ионов металлов в рафинате, коэффициентом распределения  $D = C_{\text{опт}}/C_{\text{вод}}$ , извлечением металлов в органическую фазу (в процентах по массе от исходного), коэффициентом разделения  $\beta = D_{\text{Me}_1}/D_{\text{Me}_2}$ .

**Результаты и их анализ.** На рис.2 приведена зависимость коэффициента распределения  $D$  от величины pH водного раствора солей  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CoSO}_4$  и  $\text{NiSO}_4$ .

Концентрация исходных растворов по сумме металлов составила, мг/дм<sup>3</sup>: 400-550 для индивидуальных растворов и 660-770 для растворов смеси солей металлов. Заданное значение pH поддерживали в течение 0,1-1,5 ч, в дальнейшем величина pH изменялась незначительно. Исходная водно-масляная эмульсия содержала 5 % по массе экстрагента (отношение водной и органической фаз В:О = 19:1). Объемы органической и водной фаз изменились по сравнению с исходными незначительно: объем органической – не изменился, водной – 0,8-1,0.

В табл.1 по данным рис.2 показаны лучшие результаты экстракции из индивидуальных растворов солей и из растворов смеси солей  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CoSO}_4$  и  $\text{NiSO}_4$ , полученные за 0,5 ч.

Таблица 1

**Лучшие результаты экстракции из индивидуальных растворов солей и из растворов смеси солей  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{CoSO}_4$  и  $\text{NiSO}_4$  экстрагентом марки CYANEX 272**

Металл	Концентрация исходного раствора, мг/дм <sup>3</sup>	Результаты экстракции			
		pH	Остаточная концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Коэффициент распределения $D$	Извлечение, % по массе от исходного
<i>Экстракция из индивидуальных растворов</i>					
Cu	395	4	6	1232	98,5
Cu	395	5	3	2483	99,2
Cu	395	6	3	2483	99,2
Co	546	5	7	1463	98,7
Co	546	6	6	1710	98,9
Co	546	7	10	1018	98,2
Ni	533	6	12	825	97,7
Ni	533	7	17	577	96,8
Ni	533	8	58	156	89,1

Окончание табл.1

Металл	Концентрация исходного раствора, мг/дм <sup>3</sup>	Результаты экстракции			
		pH	Остаточная концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Коэффициент распределения <i>D</i>	Извлечение, % по массе от исходного
<i>Экстракция из растворов смеси солей</i>					
Cu	168	4	21	133	87,5
Cu	168	5	5	619	97,0
Cu	168	6	3	1045	98,2
Cu	168	7	3	1045	98,2
Co	276	5	11	458	96,0
Co	276	6	10	505	96,4
Co	276	7	22	219	92,0
Ni	241	6	73	44	69,8
Ni	241	7	78	40	67,8
Ni	241	8	83	36	65,5

В щелочной среде при  $\text{pH} > 7$  из индивидуальных растворов металлы осаждаются в составе фосфорорганического соединения в виде гелеобразных осадков. Раствор отделяли от осадка через фильтр средней плотности. Фильтрация осуществлялась быстро. Фильтрат анализировали на содержание металла.

При  $\text{pH} = 8\text{--}11$  в растворе медного купороса заметно образование осадка голубого цвета. При  $\text{pH} = 12$  образуется гелеобразный осадок коричневого цвета. Лучшие результаты осаждения получены при  $\text{pH} = 12$ : минимальная остаточная концентрация  $C = 5 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cu (II)}$ , извлечение 98,7 % по массе.

При  $\text{pH} = 8\text{--}9$  в растворе сульфата кобальта заметно образование осадка синего цвета. Лучшие результаты осаждения получены при  $\text{pH} = 8$ : минимальная остаточная концентрация  $C = 74 \text{ мг/дм}^3 \text{ Co (II)}$ , извлечение 86,4 % по массе.

В процессе экстракции никеля при  $\text{pH} = 7\text{--}9$  органическая фаза принимала вид сгустка с большей плотностью и вязкостью. Раствор подвергали фильтрации для удаления слабой мути.

При  $\text{pH} = 10\text{--}12$  в системе заметно образование гелеобразного зеленого осадка. При отстаивании более суток соотношение между объемами осветленной водной фазой и осадком составило 2:1. Лучшие результаты осаждения получены при  $\text{pH} = 12$ : минимальная остаточная концентрация  $C = 1 \text{ мг/дм}^3 \text{ Ni (II)}$ , извлечение 99,8 % по массе.

Коэффициенты разделения  $\beta$  ионов меди, кобальта и никеля, рассчитанные по данным рис. 2 и табл.1, приведены в табл.2 и на рис.3.

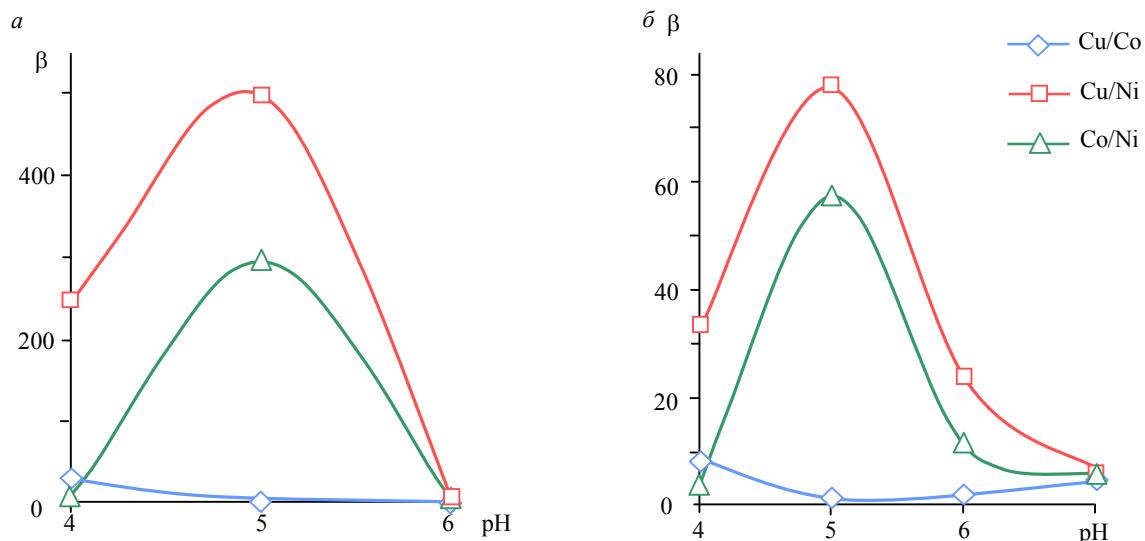


Рис.3. Коэффициенты разделения  $\beta$  ионов меди, кобальта и никеля при экстракции из сульфатных растворов их солей (экстрагент – CYANEX 272): *а* – из индивидуальных растворов; *б* – из растворов смеси солей



Таблица 2

**Коэффициенты разделения  $\beta$  ионов меди, кобальта и никеля  
при экстракции из сульфатных растворов их солей (экстрагент – CYANEX 272)**

рН экстракции	$\beta$					
	из индивидуальных растворов (условный)			из растворов смеси солей		
	Cu/Co	Cu/Ni	Co/Ni	Cu/Co	Cu/Ni	Co/Ni
4	30,0	246,4	8,2	8,3	33,3	4,0
5	1,7	496,6	292,6	1,4	77,4	57,3
6	1,5	3,0	2,1	2,1	23,8	11,5
7	–	–	1,8	4,8	6,1	5,5

По данным табл.1, 2 и рис.2, 3 можно сделать следующие выводы:

1. Извлечение ионов металлов с использованием в качестве реагента ди(2,4,4-триметилпентил)-фосфиновой кислоты осуществляется за счет образования фосфорорганического комплекса в широком диапазоне рН:

- медь при рН > 3, кобальт при рН > 4, никель при рН > 5.

При этом экстрагируются органической фазой:

- медь при рН = 3-7, кобальт при рН = 4-7, никель при рН = 5-9.

В составе фосфорорганического соединения осаждаются:

- медь при рН > 7, кобальт при рН  $\geq$  7, никель при рН  $\geq$  10.

2. Селективное извлечение исследуемых ионов из водных растворов сульфатов в процессе экстракции возможно при следующей последовательности по величине рН:

- из индивидуальных растворов

Ион	Cu	Co	Ni
рН	4-5	5-6	6-8

- из водных растворов смеси солей

Ион	Cu	Co	Ni
рН	4	5	6

3. Возможность разделения меди (II) и кобальта (II) незначительна, а отделение меди (II) и кобальта (II) от никеля (II) происходит при рН = 5.

4. Извлечение ионов меди (II), кобальта (II) и никеля (II) при их совместном присутствии в сульфатных растворах значительно ниже, чем при их экстракции из индивидуальных сульфатных растворов.

В табл.3 приведены результаты реэкстракции ионов меди, кобальта и никеля из экстрактов, полученных в опытах, представленных в табл.1.

Таблица 3

**Результаты реэкстракции ионов меди, кобальта и никеля из экстракта**

рН экстракции	рН <sub>ини</sub> реэкстракции	рН <sub>кон</sub> реэкстракции	Концентрация металла, мг/дм <sup>3</sup>						Коэффициент распределения $D$ между органической и водной фазами	$\beta$			Извлечение в реэкст- тракт, % по массе от исходного раствора						
			в исходном экстракте, $V = 10 \text{ см}^3$			в реэкстракте, $V = 50 \text{ см}^3$				Cu	Co	Ni	Cu/Co	Cu/Ni	Co/Ni	Cu	Co	Ni	
			Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni		Cu	Co	Ni	Cu/Co	Cu/Ni	Co/Ni	Cu	Co	Ni	
4	1	0,84	2793	–	–	525,6	558,6	0	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–		
5	1	0,87	3097	5035	–	581,4	1003,2	155,8	0,3	0,02	–	15	–	–	93,8	–	–		
6	1	0,87	3135	5054	3192	562,4	1005,4	572,4	0,6	0,03	0,6	20	1	0,05	89,6	99,6	89,6		
7	0	1,10	4788	4826	3097	463,6	955,6	562,4	0,6	0,05	0,5	12	1,2	0,1	48,5	99,0	90,7		

Из данных табл.3 следует, что реэкстракция эффективна при рН < 1, когда экстракция осуществлялась при рН = 4-6, и при рН < 0, когда экстракция осуществлялась при рН = 7-8.

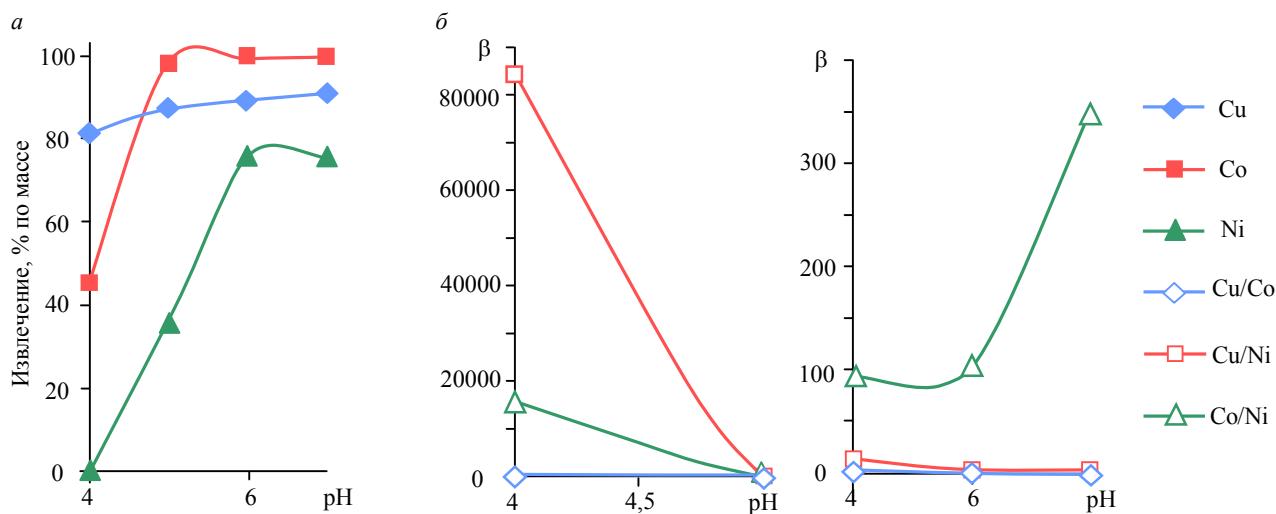


Рис.4. Результаты ступенчатой экстракции ионов металлов из водных сульфатных растворов смеси солей в зависимости от pH раствора: *а* – извлечение, *б* – коэффициент разделения

В табл.4 и на рис.4 приведены результаты экстракции, которая осуществлялась при соотношении органической и водной фаз О:В = 1:19, ступенчатом повышении pH раствора в процессе экстракции по схеме 4 → 5 → 6 и последующей реэкстракции каждой ступени при pH = 1 и соотношении О:В = 1:5. Время экстракции – 30 мин, время реэкстракции – сутки.

Таблица 4

Результаты ступенчатой экстракции ионов металлов из водных сульфатных растворов смеси солей

pH экстракции	pH <sub>кон</sub> реэкстракции	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>								
		исходного раствора, V = 190 см <sup>3</sup>			реэкстракта, V = 50 см <sup>3</sup>			рафината		
		Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni
4	0,17	168	323	176	520,6	558,6	0	30,9	176,0	176,0
5	1,30	168	323	176	38,0	646,0	239,4	21,0	6,1	113,0
6	1,34	168	323	176	11,4	19,0	266,0	18,0	1,0	42,9
7	1,36	168	323	176	11,4	3,8	0	15,0	0,3	42,9

pH экстракции	D			β			Общее извлечение в реэкстракт, % по массе от исходного раствора		
	Cu	Co	Ni	Cu/Co	Cu/Ni	Co/Ni	Cu	Co	Ni
4	84,3	15,9	0,001	5,3	84300	15900	81,6	45,5	0,01
5	133,0	987,1	10,6	0,1	12,5	93,1	87,5	98,1	35,8
6	158,3	6118	58,9	0,03	2,7	103,9	89,3	99,7	75,6
7	193,8	20437,7	58,9	0,01	3,3	347,0	91,1	99,9	75,6

Из данных табл.4 и рис.4 следует, что при содержании в исходном растворе, мг/дм<sup>3</sup>: 168 Cu, 323 Co, 176 Ni, извлекается при pH = 4 меди 82 %, при pH = 5 кобальта 98 % и при pH = 6 никеля 76 %.

Селективное извлечение цветных металлов можно осуществить дробной экстракцией с постепенным изменением величины pH раствора и поддержанием измененной величины pH на каждой периодической операции экстракции; извлечение преимущественно ионов меди осуществляется экстракцией при pH = 4, кобальта – при pH = 5, никеля – при pH = 6-7.

В табл.5 и на рис.5 приведены результаты ступенчатой экстракции ионов меди (II) и кобальта (II) на фоне макрокомпонента никеля (II). Экстракция осуществлялась при соотношении органической и водной фаз О:В = 1:19 и ступенчатом повышении pH раствора в процессе экстракции по схеме 4→5→6 при времени экстракции на каждой ступени не более 2 ч, последующей реэкстракции каждой ступени при pH = 0,5, соотношении О:В = 1:5 и времени реэкстракции 2 сут.

Состав рафината (экстрагент CYANEX 272, время экстракции на каждой ступени – не более 2 ч) следующий: концентрация, мг/дм<sup>3</sup>: Cu – 35, Co – 148, Ni – 55300; состав, % по массе: Cu – 0,06, Co – 0,27, Ni – 99,67.

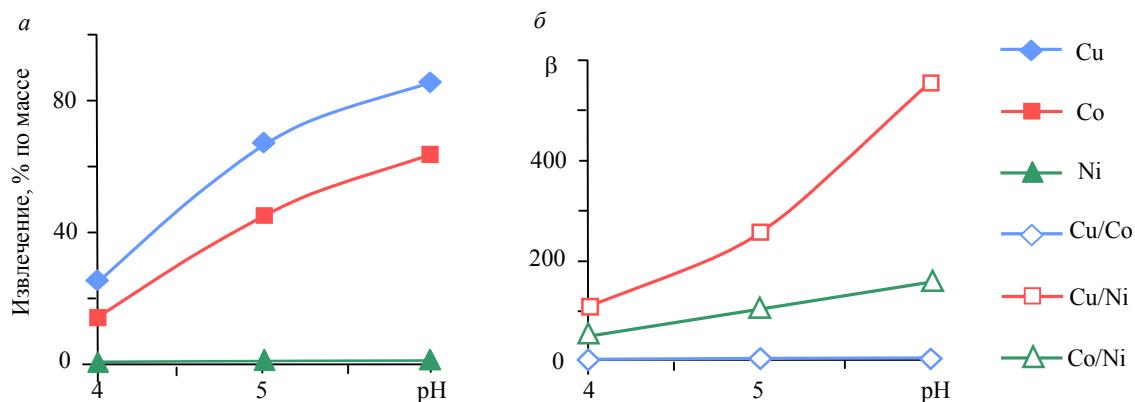


Рис.5. Результаты ступенчатой экстракции ионов металлов из водных сульфатных растворов смеси солей на фоне макрокомпонента никеля (II) в зависимости от pH раствора: *a* – извлечение, *б* – коэффициент разделения

Таблица 5

**Результаты ступенчатой экстракции ионов металлов из водных сульфатных растворов смеси солей на фоне макрокомпонента никеля (II), экстрагент CYANEX 272**

рН экстракции	рН <sub>кон</sub> рекстракции	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>								
		исходного раствора, <i>V</i> = 190 см <sup>3</sup>			рекстракта, <i>V</i> = 50 см <sup>3</sup>			рафината		
		Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni
4	-0,37	286	416	55950	270	228	613	215,1	356,1	55782,2
5	-0,07	286	416	55950	460	485	982	94,1	228,4	55502,4
6	-0,06	286	416	55950	205	293	751	40,0	151,4	55334,6

рН экстракции	<i>D</i>			$\beta$			Общее извлечение в рекстракте, % по массе от исходного раствора		
	Cu	Co	Ni	Cu/Co	Cu/Ni	Co/Ni	Cu	Co	Ni
4	6,3	3,2	0,06	2,0	105	53,3	24,8	14,4	0,3
5	38,7	15,6	0,15	2,5	258	104	67,1	45,1	0,8
6	116,9	33,2	0,21	3,5	556,7	158,1	86,0	63,6	1,1

Из данных табл.5 и рис.5 следует, что при содержании в исходном растворе, мг/дм<sup>3</sup>: 286 Cu, 416 Co, 55950 Ni, извлекается при pH = 4 меди 25 %, при pH = 5 кобальта 45 % и при pH = 6 никеля 1 %, соотношение металлов в рафинате после экстракции позволяет получить никель чистоты 99,7 %.

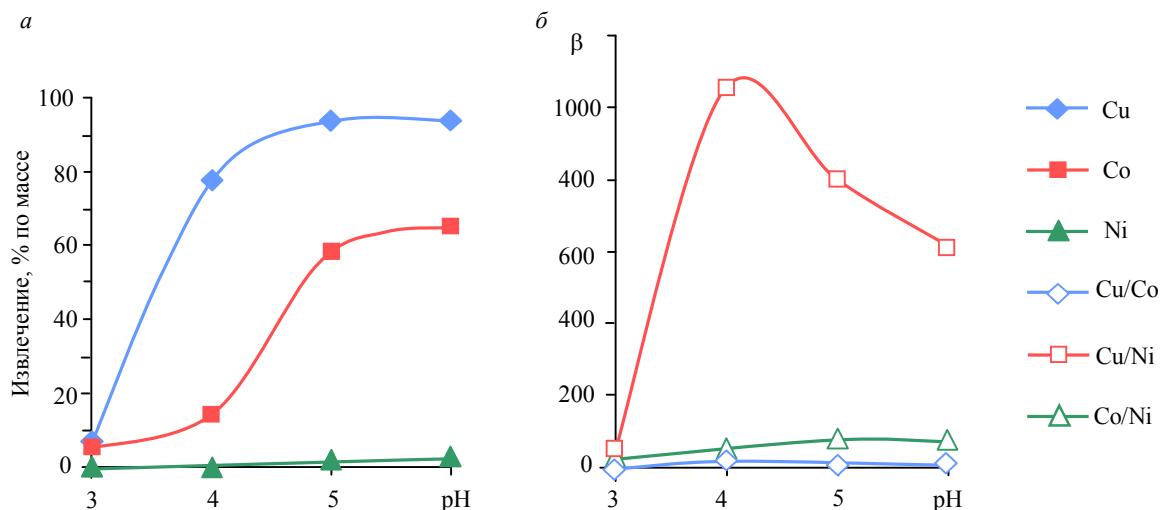


Рис.6. Результаты ступенчатой экстракции ионов металлов из водных сульфатных растворов смеси солей на фоне макрокомпонента никеля (II) в зависимости от pH раствора: *a* – извлечение, *б* – коэффициент разделения.  
Экстрагент – 30 %-ный раствор CYANEX 272 в керосине



Из данных табл.4-5 и рис. 4-5 следует, что значительное (более чем на 2 порядка) увеличение концентрации ионов никеля в растворе снижает извлечения меди и кобальта.

В табл.6 и на рис.6 приведены результаты экстракции ионов меди (II) и кобальта (II) на фоне макрокомпонента никеля (II), экстракция осуществлялась при соотношении органической и водной фаз О:В = 1:6 (в качестве экстрагента использовали 30 %-ный раствор CYANEX 272 в керосине) и ступенчатом повышении pH раствора в процессе экстракции по схеме 3→4→5→6 при времени экстракции на каждой ступени не более 2 ч, и последующей реэкстракции каждой ступени при pH = -0,5, соотношении О:В = 1:5 и времени реэкстракции 3 сут.

Состав рафината (экстрагент – 30 %-ный раствор CYANEX 272 в керосине) следующий: концентрация, мг/дм<sup>3</sup>: Cu – 0; Co – 100; Ni – 59900; состав, % по массе: Cu – 0; Co – 0,17; Ni – 99,83.

Таблица 6

**Результаты ступенчатой экстракции ионов металлов из водных сульфатных растворов смеси солей, экстрагент – 30 %-ный раствор CYANEX 272 в керосине, время экстракции на каждой ступени не более 2 ч**

рН экстракции	рН <sub>кон</sub> реэкстракции	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>								
		исходного раствора, V = 190 см <sup>3</sup>			реэкстракта, V = 50 см <sup>3</sup>			рафината		
		Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni
3	-0,60	278	266	61600	72	52	420	259,9	252,4	61476,8
4	-0,70	278	266	61600	75	96	500	61,7	227,4	61353,6
5	-0,95	278	266	61600	16	440	3360	17,8	111,2	60491,2
6	-1,00	278	266	61600	40	74	1800	16,1	91,8	59998,4

рН экстракции	D			β			Общее извлечение в реэкстракт, % по массе от исходного раствора		
	Cu	Co	Ni	Cu/Co	Cu/ Ni	Co/Ni	Cu	Co	Ni
3	0,4	0,3	0,01	1,3	40	30	6,8	5,1	0,2
4	21,0	1,0	0,02	21,0	1050	50	77,8	44,6	0,4
5	87,7	8,4	0,11	10,4	797,3	76,4	93,6	63,2	1,4
6	97,6	11,4	0,16	8,6	610	71,3	94,2	65,5	1,8

Из данных табл.6 и рис.6 следует, что при содержании в исходном растворе, мг/дм<sup>3</sup>: 278 Cu, 266 Co, 61600 Ni, извлекается при pH = 4 меди 78 %, при pH = 5 кобальта 58 % и при pH = 6 никеля 2,6 %, соотношение металлов в рафинате после экстракции позволяет получить никель чистоты 99,8 %.

Из данных табл.5-6 и рис.5-6 следует, что использование в качестве разбавителя керосина повышает извлечение меди и кобальта.

## Выводы

1. Экстрагент марки CYANEX 272 эффективен для экстракции ионов меди (II), кобальта (II) и никеля (II).
2. Возможность разделения меди (II) и кобальта (II) незначительна, а отделение меди (II) и кобальта (II) от никеля (II) происходит при pH = 5.
3. Полученные результаты экстракции ионов исследованных металлов могут быть использованы не только для переработки технологических растворов, но также для очистки стоков промышленных предприятий от рассматриваемых ионов металлов, шахтных и рудничных вод, растворов кучного и подземного выщелачивания и т.п.

**Благодарность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Республики Северная Осетия – Алания в рамках научного проекта № 17-48-150696/17.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Вольдман Г.М. Теория гидрометаллургических процессов / Г.М.Вольдман, А.Н.Зеликман. М.: Интермет-Инжиниринг, 2003. 464 с.
2. Гиндин Л.М. Экстракционные процессы и их применение. М.: Наука, 1984. 144 с.
3. Процессы и аппараты цветной металлургии / С.С.Набойченко, Н.Г.Агеев, А.П.Дорошкевич и др. / Уральский технический университет. Екатеринбург, 2005. 700 с.
4. Патент 2617471 РФ. Способ извлечения кобальта из сульфатных растворов никеля и кобальта / А.Г.Касиков, М.А.Шарандо, Е.Г.Багрова, Н.В.Серба. Опубл. 25.04.2017. Бюл. № 12.
5. Патент 2203969 РФ. Способ селективной экстракции ионов меди, кобальта и никеля из водных растворов / Л.А.Воропанова, Е.Ю.Крутских, В.Н.Титухина. Опубл. 10.05.2003. Бюл. № 13.
6. Патент 2604289 РФ. Способ очистки никелевого электролита от примесей железа (III), кобальта (III) и меди (II) экстракцией / Л.А.Воропанова, Н.Т.Кисиев, З.А.Гагиева. Опубл. 10.12.2016. Бюл. № 34.
7. Радушев А.В. Экстракция меди (II) и никеля (II) из кислых растворов гидразидами нафтеновых кислот / А.В.Радушев, В.Ю.Гусев, Г.С.Богомазова // Современные проблемы химии и технологии экстракции. 1999. Т.2. С. 189-194.
8. Экстракционная очистка сульфатного никелевого электролита от примесей / С.Б.Котухов, М.Б.Грейвер, А.И.Юрьев, Л.А.Большаков // Тез. докл. XIII Российской конференции по экстракции, 19-24 сентября 2004 г., М., 2004. Ч. 2. С. 229-230. URL: [https://www.fbr.ru/rffi/ru/projeckt\\_search/0\\_254342](https://www.fbr.ru/rffi/ru/projeckt_search/0_254342) (дата обращения 10.08.2017).
9. Gharabaghi M. Separation of nickel and zinc ions in a synthetic acidic solution by solvent extraction using D2EHPA and Cyanex 272 / M.Gharabaghi, M.Irannajad, A.Azadmehr // Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2013. № 49 (1). P.233-242.
10. Ocana N. Cobalt-manganese separation: The extraction of cobalt (II) from manganese sulphate solutions by Cyanex 301 / N.Ocana, F.J.Alguacil // J. of Chemical Technology and Biotechnology. 1999. Vol.73. № 3. P.211-216.
11. Sole K.C. B. Solvent extraction of copper by Cyanex 272, Cyanex 302 and Cyanex 301/ K.C.Sole, J. B.Hiskey // Hydrometallurgy. 1995. Vol. 37. P.129-147.
12. Tait B.K. Cobalt-nickel separation: the extraction of cobalt (II) and nickel (II) by Cyanex 301, Cyanex 302 and Cyanex 272 // Hydrometallurgy. 1992. Vol. 32. P.365-372.
13. The development of a novel hydrometallurgical process for nickel and cobalt recovery from Goro laterite ore / I.Mihaylov, E.Krause, D.F.Colton, Y.Okita, J.-P.Duterque, J.-J.Perraud // CIM Bulletin. 2000. Vol. 93. № 1041. P.124-130.

**Авторы:** Л.А.Воропанова, д-р техн. наук, профессор, [lidia\\_metall@mail.ru](mailto:lidia_metall@mail.ru) (Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия), В.П.Пухова, канд. техн. наук, инженер, [ranova-vikochka@mail.ru](mailto:ranova-vikochka@mail.ru) (Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия).

Статья поступила в редакцию 11.09.2017.

Статья принята к публикации 08.05.2018.