

# БЕЗРЕАГЕНТНЫЙ МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА ИЗ ПРОДУКЦИОННОГО И ПРОМЫВНОГО РАСТВОРОВ АММИАЧНО-КАРБОНАТНОГО ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Т.А. Харламова<sup>1</sup>, Е.И. Хабарова<sup>2</sup>, Ю.Ю. Атаманова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГОУ;

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет

**Аннотация:** Наиболее токсичными элементами, накапливающимися в окружающей среде и приводящими к серьезным нарушениям состояния живых организмов, являются тяжелые металлы. Антропогенными источниками тяжелых металлов в окружающей среде являются выбросы в атмосферу и сбросы сточных вод различных производств, которые наносят серьезный и долговременный ущерб геоэкологическому состоянию территорий. В частности, при переработке руд в окружающую среду переходят токсичные тяжелые металлы, которые являются опасными источниками отравления людей, животных и растений. Группа тяжелых металлов обширна, и к ним относятся никель и кобальт. Последние встречаются в концентрациях, превышающих фоновые значения на несколько порядков, на многочисленных территориях, но особенно высокие концентрации образуются на предприятиях по добыче и переработке никелевых руд. Растворимые формы кобальта и никеля действуют на почву, растения и на человека как сильные токсиканты. При переработке никель-кобальтовых оксидных руд методом селективного восстановительного обжига с последующим окислительным аммиачно-карбонатным выщелачиванием образуются никель-кобальтовые растворы двух типов – производственный и промывной. В практике для извлечения из них кобальта и никеля реализуется обработка реагентным методом с использованием сульфидов или сульфитов натрия или аммония, реже – сероводородной кислотой. Однако применяемый метод из-за большого расхода реагентов на осаждение металлов и недостаточной степени их извлечения сопровождается образованием высокоминерализованных сульфид- или сульфит-содержащих сточных вод с высоким остаточным содержанием тяжелых металлов. Недостатки метода диктуют необходимость изыскания иных более перспективных и экологически более чистых путей извлечения металлов. Целью исследования являлось снижение экологического ущерба окружающей среде за счет применения безреагентного метода извлечения кобальта и никеля из производственного и промывного растворов. Для достижения поставленной цели был выбран метод электролиза с объемно-пористым катодом из углеграфитового материала. В работе приведены исследования по влиянию режимов обработки производственного и промывного растворов на степень извлечения никеля и кобальта. Изучены основные закономерности по влиянию плотности тока и продолжительности электролиза на степень извлечения металлов и их соотношение в катодном осадке, проведены расчеты выходов по току и выполнена оценка затрат электроэнергии. Показано, что метод позволяет достичь степени извлечения кобальта до 97,4 % из производственного и до 88,6 % из промывного растворов, что свидетельствует об эффективности и перспективности безреагентного метода с объемно-пористыми катодами из УВМ.

**Ключевые слова:** кобальт и никель, промывной и производственный растворы, электролиз, безреагентный метод, объемно-пористый катод, катодный осадок, аммиачно-карбонатное окислительное выщелачивание.

**Для цитирования:** Харламова Т.А., Хабарова Е.И., Атаманова Ю.Ю. Безреагентный метод извлечения никеля и кобальта из производственного и промывного растворов аммиачно-карбонатного окислительного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 228–240. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-228-240.

---

## Reagent-free method for extraction of nickel and cobalt from production and washing solutions of ammonia-carbonate oxidative leach

T.A. Kharlamova, E.I. Khabarova, Yu.Yu. Atamanova

<sup>1</sup> MGOU, Moscow Region, Mytishi, Russia;

<sup>2</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

---

**Abstract:** The most toxic elements that accumulate in the environment and lead to serious damage to living organisms are heavy metals. Anthropogenic sources of heavy metals in the environment are air emissions and wastewater discharges from various industries, which cause serious and long-term damage to the geocological state of the territories. In particular, during the processing of ores, toxic heavy metals are transferred to the environment, which are dangerous sources of poisoning for people, animals and plants. The group of heavy metals is extensive and includes nickel and cobalt. The latter are found in concentrations that exceed the background values by several orders of magnitude in numerous territories, but especially their high concentrations are formed at enterprises for the extraction and processing of nickel ores. Soluble forms of cobalt and nickel act as strong toxicants on soil, plants and humans. During the processing of nickel-cobalt oxide ores by selective reduction roasting, followed by oxidative ammonia-carbonate leaching, nickel-cobalt solutions of two types are formed – production and washing. In practice, for the extraction of cobalt and nickel from them, treatment is carried out by the reagent method using sulfides or sulfites of sodium or ammonium, less often with hydrogen sulfide acid. However, the method used, due to the high consumption of reagents for the deposition of metals, and the insufficient degree of their extraction, is accompanied by the formation of highly mineralized sulfide or sulfite-containing wastewater with a high residual content of heavy metals. The disadvantages of this method dictate the need to find other more promising and more environmentally friendly ways to extract metals. The aim of the study was to reduce environmental damage to the environment through the use of a reagent-free method for extracting cobalt and nickel from the production and washing solutions. To achieve this goal, the electrolysis method with a volumetric porous cathode made of carbon-graphite material was chosen. This paper presents studies on the effect of the treatment modes of the production and washing solutions on the recovery of nickel and cobalt. The main regularities of the influence of the current density and the duration of electrolysis on the degree of extraction of metals and their ratio in the cathode deposit have been studied, the current efficiencies have been calculated and the electricity consumption has been estimated. It is shown that the method makes it possible to achieve the degree of extraction of cobalt up to 97.4% from the production and up to 88.6% from the washing solutions, which testifies to the efficiency and prospects of the reagent-free method with volume-porous cathodes from CFM.

**Key words:** cobalt and nickel, wash and production solutions, electrolysis, reagentless method, volumetric porous cathode, cathode precipitate, ammonia-carbonate oxidative leaching.

**For citation:** Kharlamova T.A., Khabarova E.I., Atamanova Yu.Yu. Reagent-free method for extraction of nickel and cobalt from production and washing solutions of ammonia-carbonate oxidative leach. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):228-240. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-228-240.

---

## Введение

Наиболее токсичными из элементов, накапливающихся в окружающей среде и приводящих к серьезным нарушениям состояния живых организмов, являются тяжелые металлы. Антропогенные источники тяжелых металлов в окружающей среде — выбросы в атмосферу и сбросы сточных вод различных производств. В наземные и подземные воды попадает значительный объем высокотоксичных вод, наносящих серьезный и долговременный ущерб геоэкологическому состоянию территорий (обеднение водных запасов, сокращение ресурсов подземных вод и нарушение естественного процесса саморегуляции природной среды). Металлургия и горнодобывающая промышленность вносят наибольший вклад в загрязнение атмосферы, поверхностных и подземных вод, верхнего слоя почвы (до 36 %) [1–5]. Освоение месторождения приводит к глобальному преобразованию геологической структуры и состоянию геосистемы за счет резкого увеличения поступления токсичных веществ в окружающую среду [6–10]. Группа тяжелых металлов обширна. Она включает 22 элемента, среди которых находятся Ni и Co, относящиеся к миграционным элементам. Последние встречаются в концентрациях, превышающих фоновые значения на несколько порядков на многочисленных территориях, в частности, обнаружены на территории Московской области в осадках рек наряду с такими токсикантами, как Cu, Zn, Pb, Hg и Cd, но особенно высокие концентрации образуются на предприятиях по добыче и переработке никелевых руд. Растворимые формы Co и Ni действуют на почву, растения и на человека как сильные токсиканты [11–13].

При переработке никель-кобальтовых оксидных руд методом селективного восстановительного обжига

с последующим окислительным аммиачно-карбонатным выщелачиванием образуются никель-кобальтовые растворы двух типов — производственный и промывной. Для извлечения из них Co и Ni применяется обработка растворов реагентным методом с использованием в основном сульфидов или сульфитов натрия или аммония, реже — сероводородной кислотой. На осаждение металлов расходуется огромное количество реагентов, приводящее к образованию высокоминерализованных сточных вод, трудно поддающихся очистке и наносящих ущерб подземным водам.

Для снижения экологического ущерба окружающей среде перспективным является безреагентный электрохимический метод. Ранее авторами [14] была показана возможность высокой степени извлечения кобальта (до 70–90 %) и получения плотного катодного осадка с соотношением Co:Ni = 5–10:1 электролизом с пластинчатыми катодами из нержавеющей стали. Однако отмечается низкая производительность электролизеров вследствие необходимости поддержания низкой плотности тока 12–25 А/м<sup>2</sup>.

Повысить производительность при низких плотностях тока можно путем применения электролизеров с объемно-пористыми электродами [15]. Использование углеродных волокнистых материалов (УВМ) в качестве объемно-пористых электродов для процессов катодного осаждения металлов из растворов было начато в лаборатории электрохимии водных растворов СО АН СССР еще в начале 70-х гг., и до настоящего времени ведутся работы по их модификации [16].

*Целью настоящей научно-исследовательской работы* является снижение экологического ущерба окружающей среде за счет применения безреагентного электрохимического метода извле-

чения Со и Ni из производственного и промывного растворов. Для достижения поставленной цели был выбран метод электролиза с объемно-пористым катодом из УВМ; проведены исследования по влиянию катодной плотности тока и продолжительности электролиза на степень осаждения суммы металлов Со и Ni и их соотношения в катодном осадке; выполнена оценка затрат электроэнергии и выхода металлов по току.

### Методическая часть

Эксперименты по электрохимическому осаждению тяжелых металлов из металлосодержащих растворов проводили в лабораторном мембранном электролизере, изготовленном по чертежам ООО «СКБ ГОМ», являющегося разработчиком конструкций промышленных аппаратов типов ЭУ-1 и ЭУ-1М с углеродными волокнистыми материалами (г. Новосибирск).

В корпусе электролизера прямоугольной формы, выполненного из оргстекла и имеющего боковой слив, располагались две анодные и одна катодная камеры. Каждую анодную камеру заполняли анолитом — 10% раствором  $H_2SO_4$ . Между анодной и катодной камерами размещалась катионообменная мембрана МК-40, закрепленная на внутренней стороне анодных камер с помощью титановых болтов. Катодная камера состояла из корпуса с входным патрубком для подачи раствора. УВМ вырезали строго по размеру корпуса катодной камеры и с двух сторон плотно фиксиро-

вали рамкой из оргстекла прижимными болтами к титановой сетке, обеспечивающей токоподвод к материалу.

Очищаемые растворы с помощью перистальтического насоса марки ВЗ-В РЕК (Италия) подавали в катодную камеру через патрубок и прокачивали через объемно-пористый УВМ. Процесс осуществляли при циркуляции растворов со скоростью 12 л/ч. Детально конструкция электролизера и методика проведения экспериментов описаны в работе [17]. Источник питания ВУР 15В/100 А, 1500 Вт.

Объектами исследования служили модельные производственный и промывной аммиачно-карбонатные растворы, составы которых приведены в табл. 1.

Расчет выхода металлов по току ( $ВТ$ ) проводили по формуле:  $ВТ = (m_{\text{практ}} / m_{\text{теор}}) \cdot 100, \%$ , где  $m_{\text{практ}}$  и  $m_{\text{теор}}$  — масса выделенного металла, фактическая и теоретическая, рассчитанные по закону Фарадея, кг;  $m_{\text{практ}} = (C_0 - C_{\text{кон}}) \cdot V_p$ , где  $C_0$ ,  $C_{\text{кон}}$  — начальная и конечная концентрации металла, г/л;  $V_p$  — объем обрабатываемого раствора, л;  $m_{\text{теор}} = qIt$ , где  $I$  — сила тока, подаваемого на электрохимический реактор, А;  $t$  — время, ч;  $q_{Co}^{+2} = 1,10$ ,  $q_{Ni}^{+2} = 1,09$  г-экв/(А·ч) — электрохимические эквиваленты кобальта и никеля, соответственно.

Степень извлечения металла  $\alpha$  (%) рассчитывали как отношение разницы между начальной и конечной концентрациями металлов (в ионной форме) к его начальной концентрации по формуле (1).

Таблица 1

**Составы модельных производственного и промывного аммиачно-карбонатных растворов**  
**Compositions of model production and washing ammonia-carbonate solutions**

Тип раствора	Состав, г/л			
	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Ni	Со
Производственный раствор	78,0	29,4	12,1	0,18
Промывной раствор	49,1	29,7	0,48	0,22

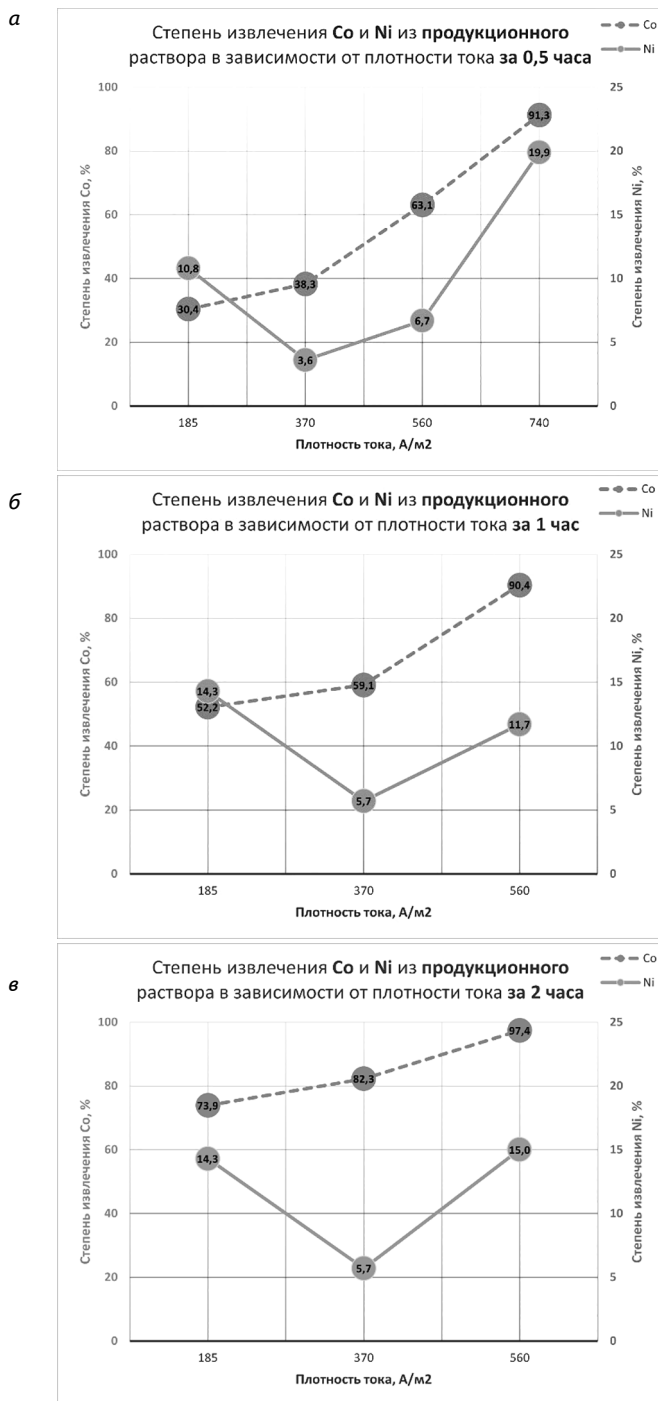


Рис. 1. Степень извлечения Co и Ni из производственного раствора за различное время электролиза: а – за 0,5 ч, б – за 1 ч, в – за 2 ч

Fig. 1. The degree of extraction of Co and Ni from the production solution for different electrolysis times: a – for 0,5 h, b – for 1 h, c – for 2 hour

$$\alpha(\%) = \left[ \frac{(C_{\text{вон}} - C)}{C_0} \right] \cdot 100, \% \quad (1)$$

Определение концентрации ионов исследуемых металлов в растворе выполняли с использованием атомно-абсорбционного спектрометра Warian AA-220 (Австрия).

## **Результаты экспериментов и их обсуждение**

### **Продукционный раствор**

#### **1. Степень извлечения металлов**

Для исследования был выбран интервал катодных плотностей тока 185–740 А/м<sup>2</sup> и временной диапазон электрохимической обработки 0,5–2 ч.

На рис. 1 представлены зависимости степени извлечения исследуемых металлов от катодной плотности тока и длительности электролиза продукционного раствора.

Из представленных на рис. 1 графиков видно, что степень извлечения Со из продукционного раствора на объемно-пористые катоды за одно и то же время электролиза монотонно увеличивается с ростом катодной плотности тока: при минимальной плотности тока степень извлечения не превышает 73 %, а при максимальной достигает 97,4 %.

Степень извлечения Ni имеет тенденцию к снижению в области  $i = 370 \text{ А/м}^2$  с последующим ростом при повышении плотности тока.

#### **2. Соотношение металлов Со и Ni в катодном осадке на УВМ**

Для оценки влияния катодной плотности тока и длительности электролиза обработки продукционного раствора на соотношение металлов Со и Ni в катодном осадке на УВМ были проведены эксперименты, результаты которых сведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что в изучаемой области катодных плотностей тока

$i = 370 - 560 \text{ А/м}^2$  наблюдается рост осажденного металлического Со на УВМ: максимальное содержание металлического Со (соотношение Со:Ni = 0,18:1) на объемно-пористом катоде наблюдается при следующих параметрах:  $i = 560 \text{ А/м}^2$ ; время электролиза 0,5 ч. Однако увеличение времени циркуляции раствора при данной плотности тока приводит к росту металлического никеля в катодном осадке.

#### **3. Выход по току и расход электроэнергии**

В табл. 3 приведены результаты расчетов выхода по току Со и Ni и расход электроэнергии на 1 кг катодно-осажденного металлического Со при различных значениях катодной плотности тока и длительности электролиза.

Из табл. 3 видно, что выход по току металлов не высокий и для кобальта находится в пределах  $ВТ_{\text{Со}} = 2,7 \% - 17,4 \%$ , а для никеля – в пределах  $ВТ_{\text{Ni}} = 13,9 \% - 77,3 \%$ . Минимальный расход электроэнергии для осаждения Со на УВМ в условиях его высокого выхода по току наблюдается при катодной плотности тока  $i = 185 \text{ А/м}^2$  за 0,5 ч электролиза. Повышение длительности электролиза приводит к росту затрат электроэнергии на выделение металлического Со, что объясняется снижением его выхода по току.

#### **Промывной раствор**

##### **1. Степень извлечения металлов**

На рис. 2 представлены зависимости степени извлечения исследуемых металлов от плотности тока и длительности электролиза промывного раствора.

Из кривых на рис. 2 видно, что в промывном растворе зависимости степени извлечения Со и Ni от катодной плотности тока имеют симбатный характер: за 0,5 ч электролиза зависимости имеют отчетливый максимум при  $i = 370 \text{ А/м}^2$

Таблица 2

**Влияние катодной плотности тока и длительности электролиза продукционного раствора на соотношение металлических Co и Ni на УВМ**

**Influence of the cathode current density and the duration of the electrolysis of the production solution on the ratio of metallic Co and Ni on the CFM**

№ опыта п/п	Катодная плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Длительность электролиза, ч	Соотношение металлов Co:Ni в катодном осадке на УВМ*
1	185	0,5	0,08:1
		1	0,03:1
		2	0,05:1
2	370	0,5	0,10:1
		1	0,14:1
		2	0,14:1
3	560	0,5	0,18:1
		1	0,16:1
		2	0,12:1
4	740	0,25	0,04:1
		0,5	0,11:1

\* Соотношение Co:Ni (в ионной форме) в необработанном растворе составляет 0,015:1

Таблица 3

**Влияние катодной плотности тока и длительности электролиза продукционного раствора на выход по току металлов и расход электроэнергии**

**Table 3. Influence of the cathode current density and the duration of electrolysis of the production solution on the current efficiency of metals and power consumption**

№ п/п	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Длительность электролиза, ч	Выход по току, %		Расход электроэнергии, кВт·ч/1 кг Co
			Co	Ni	
1	185	0,5	17,4	28,1	16,3
		1,0	6,9	14,8	67,1
		2,0	4,9	46,3	76,9
2	370	0,5	5,1	37,0	90,2
		1,0	3,9	27,8	98,9
		2,0	2,7	13,9	165,8
3	560	0,5	7,1	37,0	30,0
		1,0	5,1	34,5	35,8
		2,0	2,7	21,5	68,4
4	740	0,5	9,1	77,3	108,3

с последующим спадом степени извлечения при росте силы тока; за 1 ч электролиза наблюдается более продолжительный подъем степени извлечения в области  $i = 370 - 560$  А/м<sup>2</sup> с последующим спадом; при 2-х часовой электрохимической обработке степень извлечения практически не зависит от плотности тока в диапазоне значений  $i = 370 - 740$  А/м<sup>2</sup>.

## 2. Соотношение Co и Ni в катодном осадке на УВМ

Экспериментальные значения по соотношению Co и Ni в катодном осадке в зависимости от плотности тока и длительности электролиза промывного раствора сведены в табл. 4.

Приведенные в табл. 4 данные свидетельствуют о том, что по мере уве-

личения времени циркуляции раствора происходит закономерное снижение содержания в катодном осадке кобальта, следовательно для получения осадка с высоким его содержанием не следует увеличивать общее время электролиза.

### 3. Выход по току и расход электроэнергии

В табл. 5 приведены результаты расчетов выхода по току металлов и расходу электроэнергии на 1 кг катодно-осажденного металлического Со в зависимости от катодной плотности тока и длительности электролиза.

Таблица 4

**Влияние плотности тока и продолжительности электролиза промывного раствора на соотношение Со и Ni в катодном осадке на УВМ**

**Influence of current density and duration of electrolysis of washing solution on the ratio of Co and Ni in the cathode deposit on the CFM**

№ опыта п/п	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Длительность электролиза, ч	Соотношение металлов Со:Ni в катодном осадке на УВМ*
1	90	0,5	1,9:1
		1	1,7:1
		2	1,4:1
	180	0,5	1,2:1
		1	0,8:1
		2	0,6:1
3	360	0,5	2,2:1
		1	0,9:1
		2	0,7:1
4	540	0,5	4,9:1
		1	1,3:1
		2	0,7:1

\*Соотношение Со:Ni (в ионной форме) в необработанном растворе 0,46:1

Таблица 5

**Влияние катодной плотности тока и длительности электролиза промывного раствора на выход по току металлов и расход электроэнергии**

**Table 5 Influence of the cathode current density and the duration of electrolysis of the washing solution on the current efficiency of metals and power consumption**

№ п/п	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Длительность электролиза, ч	Выход по току, %		Расход электроэнергии, кВт·ч/1 кг Со
			Со	Ni	
1	90	0,5	14,4	11,8	—
		1,0	18,2	10,4	5,08
		2,0	11,6	8,1	7,82
2	180	0,5	5,1	16,3	15,6
		1,0	12,2	14,3	22,7
		2,0	7,3	10,7	38,4
3	360	0,5	8,0	3,7	45,5
		1,0	7,9	8,1	47,6
		2,0	4,3	5,5	85,0
4	540	0,5	2,4	0,5	18,9
		1,0	4,7	3,7	98,7
		2,0	3,1	4,3	146,4



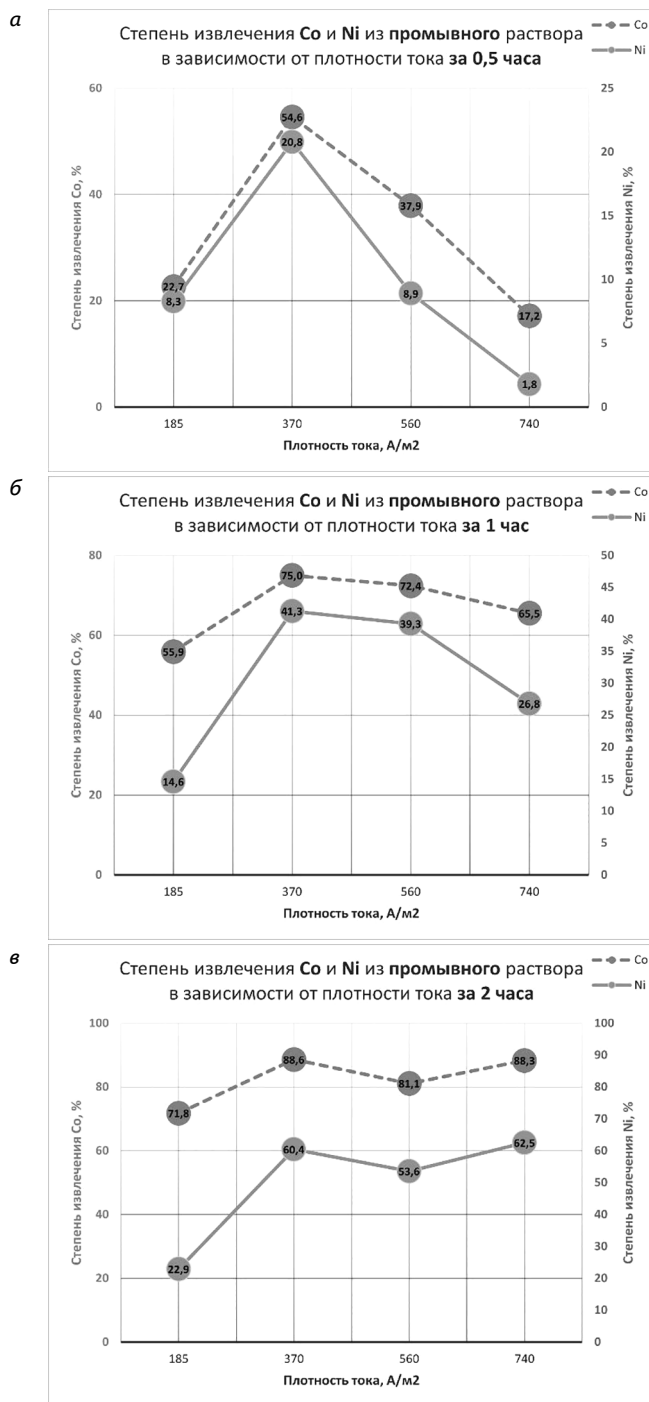


Рис. 2. Зависимость степени извлечения **Co** и **Ni** из промывного раствора от плотности тока за различное время электролиза: **а** — за 0,5 ч, **б** — за 1 ч, **в** — за 2 ч

Fig. 2. Dependence of the degree of extraction of **Co** and **Ni** from the washing solution on the current density for different electrolysis times: **a** — for 0,5 h, **b** — for 1 h, **c** — for 2 h

Из данных табл. 5 следует, что значения выходов по току металлов существенно ниже, чем для производственного раствора из-за высоких концентрационных ограничений и для кобальта находятся в пределах  $BT_{Co} = 2,4\% - 18,2\%$ , а для никеля — в пределах  $BT_{Ni} = 0,5\% - 16,3\%$ . Расход электроэнергии на выделение Co существенно снижается при понижении катодной плотности тока за счет роста его выхода по току.

### Регенерация объемно-пористого катода из УВМ

Периодически проводили циклы регенерации объемно-пористого катода из УВМ с целью его повторного использования. Известно [4], что возможна как его химическая, так и электрохимическая регенерация. В данной работе была использована электрохимическая регенерация, заключающаяся в периодической смене полярности электродов в 10% растворе  $H_2SO_4$ . Соотношение катионов металлов в регенерационном растворе кислоты достигало  $Co:Ni = 5-15:1$ , причем расход электроэнергии на растворение 1 кг металлов не превышал 2,0 кВт·ч.

### Выводы

Наблюдающиеся зависимости электролитического осаждения Ni и Co на объемно-пористые катоды из УВМ можно объяснить с точки зре-

ния комплексобразующей способности кобальта и никеля. Из электрохимии аммонийных комплексов Co и Ni известна сравнительно легкая окисляемость первых, что подтверждается и практикой окислительного аммиачно-карбонатного выщелачивания руд. Так, если нормальный потенциал системы  $Ni(NH_3)_6^{2+} \leftrightarrow Ni^{+2} + 6NH_3$  составляет  $-0,49$  В, то для системы  $Co(NH_3)_6^{2+} \leftrightarrow \leftrightarrow Co(NH_3)_6^{3+}$  он всего  $-0,108$  В. Вероятно, поэтому при низкой плотности тока преимущественно осаждается на катоде металлический кобальт вследствие протекания реакции восстановления его из 3-х валентного состояния в комплексах до 2-х валентного состояния, что однако не мешает осаждению Ni.

С ростом плотности тока наблюдается систематическое падение во времени выхода металлического кобальта по току на катоде и, соответственно, рост расхода электроэнергии на его выделение.

Полученные в рамках проведенного исследования степени извлечения наиболее дорогостоящего металла кобальта (до 97,4 % из производственного и до 88,6 % из промывного растворов) свидетельствует о том, что безреагентный электрохимический метод с объемно-пористыми катодами из УВМ имеет хорошую перспективу. Практическое применение метода понизит техногенную нагрузку на природу.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликова А.А., Стельмахов А.А., Бачева Т.А., Цымбал М.Н. Очистка вод, поступающих из затопленных шахт и рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 38–47. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-38-47.
2. Куликова А.А., Сергеева Ю.А., Овчинникова Т.И., Хабарова Е.И. Формирование шахтных вод и анализ способов их очистки // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 7. — С. 135–145. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.
3. Kulikova E. Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures // Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. Pp. 385–390. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.385.

4. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.

5. Пелипенко М.В., Баловцев С.В., Айнбиндер И.И. К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

6. Скопинцева О.В., Ганова С.Д., Бузин А.А., Федотова В.П. Мероприятия по борьбе с пылью при погрузке и транспортировании твердых полезных ископаемых // Горный журнал. — 2019. — № 12. — С. 76–79. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16.

7. Muhammad Afzal, Khadeeja Rehman, Ghulam Shabir, Razia Tahseen, Amna Ijaz, Amer J. Hashmat, Hans Brix Large-scale remediation of oil-contaminated water using floating treatment wetlands // npj Clean Water. 2019, no 2. Article 3. DOI: 10.1038/s41545-018-0025-7.

8. Arefieva O.D., Shapkin N.P., Gruschakova N.V., Prokuda N.A. Mine water: chemical composition and treatment Water Practice and Technology. 2016. Т. 11. No 3. Pp. 540–546.

9. Зиновьева О.М., Колесникова Л.А., Меркулова А.М., Смирнова Н.А. Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах // Уголь. — 2020. — № 10. — С. 62–67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.

10. Лебедев В.С., Скопинцева О.В. Остаточные газовые компоненты угольных пластов: состав, содержание, потенциальная опасность // Горный журнал. — 2017. — № 4 — С. 84–86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.

11. Петросян В.С., Шувалова Е.А. Химия, человек и окружающая среда. — М.: ООО “Буки Веди”. — 2017. — 472 с.

12. Шуленина З.М. / Вода техногенная: проблемы, технологии, ресурсная ценность / З.М. Шуленина, В.В. Багров, А.В. Десятов и др. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2015. — 401 с.

13. Бактыбаева З.М., Сулейманов Р.А., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р. Тяжелые металлы в компонентах малых рек на территории г. Сибай (республика Башкортостан) // Вода, химия и экология. — 2017. — Т. 5. — С. 85–92.

14. Соболев С.И., Макаров М.М. Селективная электроэкстракция кобальта из аммиачных растворов // Сборник научных трудов ГИНЦВЕТМЕТ. — 1986. — С. 72–80.

15. Варенцов В.К., Варенцова В.И. Извлечение кадмия из аммиачных промывных растворов электролизом с углеродными проточными электродами // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2003. — Т. 13 — № 3. — С. 26–32.

16. Varentsov V.K. Electrolysis in the solutions of electrolytes as an efficient method to modify the properties of carbon fibre material / V.K. Varentsov, V.I. Varentsova // Chemistry for Sustainable Development. 2000, no 8, pp. 339–348.

17. Томилова А.П. Интенсификация электрохимических процессов // Сборник научных трудов под редакцией. — М.: Наука. — 1988. — 215 с. **МИАН**

## REFERENCES

1. Kulikova A.A., Stelmakhov A.A., Bacheva T.A., Tsybmal M.N. Treatment of water inflow from flooded underground mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6):38–47. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-38-47.

2. Kulikova A.A., Sergeeva Yu. A., Ovchinnikova T.I., Khabarova E.I. Formation of mine water composition and analysis of treatment methods. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(7):135–145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.

3. Kulikova E. Yu. Estimation of factors of aggressive influence and corrosion wear of underground structures // *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. Pp. 385–390. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.385.

4. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.

5. Pelipenko M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. Integrated accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 11, pp. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192. [In Russ].

6. Skopintseva O.V., Ganova S.D., Buzin A.A., Fedotova V.P. Measures to reduce dusting during loading and transportation of solid mineral resources. *Gornyi Zhurnal.* 2019, no. 12, pp. 76–79. DOI: 10.17580/gzh.2019.12.16. [In Russ].

7. Muhammad Afzal, Khadeeja Rehman, Ghulam Shabir, Razia Tahseen, Amna Ijaz, Amer J. Hashmat, Hans Brix Large-scale remediation of oil-contaminated water using floating treatment wetlands // *npj Clean Water.* 2019, no. 2. Article 3. DOI: 10.1038/s41545-018-0025-7.

8. Arefieva O.D., Shapkin N.P., Gruschakova N.V., Prokuda N.A. Mine water: chemical composition and treatment *Water Practice and Technology.* 2016. T. 11. no. 3. Pp. 540–546.

9. Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M. & Smirnova N.A. Environmental analysis in coal mining regions. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2020, no. 10, pp. 62–67. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.

10. Lebedev V.S., Skopintseva O.V. Residual coalbed gas components: Composition, content, hazard. *Gornyi Zhurnal.* 2017, no. 4, pp. 84–86. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.

11. Petrosyan V.S., Shuvalova E.A. *Khimiya, chelovek i okruzhayushchaya sreda* [Chemistry, man and the environment]. M.: LLC “Buki Vedi”. 2017, 472 p. [In Russ].

12. Shulenina Z.M., Bagrov V.V., Desyatov A.V. et al. *Voda tekhnogennaya: problemy, tekhnologii, resursnaya tsennost'* [Technogenic water: problems, technologies, resource value]. Moscow: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman. 2015. 401 p. [In Russ].

13. Baktybaeva Z.M., Suleimanov R.A., Valeev T.K., Rakhmatullin N.R. Heavy metals in the components of small rivers on the territory of Sibay (the Republic of Bashkortostan) // *Water, chemistry and ecology.* 2017. T. 5. Pp. 85–92. [In Russ].

14. Sobol S.I., Makarov M.M. *Selektivnaya elektroekstraktsiya kobal'ta iz ammiachnykh rastvorov. Sbornik nauchnykh trudov GINTSVETMET* [Selective electroextraction of cobalt from ammonia solutions. Collection of scientific papers GINTSVETMET]. 1986. Pp.72–80. [In Russ].

15. Varentsov V.K., Varentsova V.I. *Izvlecheniye kadmiya iz ammiakatnykh promyennykh rastvorov elektrolizom s uglerodnymi protochnymi elektrodami. Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti* [Extraction of cadmium from ammonia wash solutions by electrolysis with carbon flow electrodes. Electroplating and surface treatment]. 2003. T. 13. no. 3. Pp. 26–32. [In Russ].

16. Varentsov V.K., Varentsova V.I. Electrolysis in the solutions of electrolytes as an efficient method to modify the properties of carbon fibre material. *Chemistry for Sustainable Development.* 2000, no. 8, pp. 339–348.

17. Tomilova A.P. *Intensifikatsiya elektrokhimicheskikh protsessov. Sbornik nauchnykh trudov pod redaktsiyey* [Intensification of electrochemical processes. Collection of scientific papers edited by AP Tomilov]. Moscow: Nauka. 1988. 215 p. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Харламова Татьяна Андреевна — доктор технических наук, профессор, кафедра теоретической и прикладной химии, МГОУ, 9168787573@mail.ru;

*Хабарова Елена Ивановна* – кандидат химических наук, доцент, ИТХТ имени М.В. Ломоносова, МИРЭА – Российский технологический университет, e-mail: khabarova@mitht.ru;

*Атаманова Юлия Юрьевна* – аспирант, кафедра теоретической и прикладной химии, МГОУ, Мытищи, e-mail: julia@atamanova.com.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Kharlamova T.A.*, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Theoretical and Applied Chemistry, e-mail: 9168787573@mail.ru, MGOU, Mytishchi, Russia;

*Khabarova E.I.*, Cand. Sci. (Chem.), Assistant Professor, Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia, e-mail: khabarova@mitht.ru;

*Atamanova Yu. Yu.*, post-graduate student, Department of Theoretical and Applied Chemistry, e-mail: julia@atamanova.com, Moscow State University, Mytishchi, Russia.

Получена редакцией 12.01.2021; получена после рецензии 27.01.2021; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 12.01.2021; received after the review 27.01.2021; accepted for printing 01.02.2021.

