

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ

Раева О.В., Бреус Н.О., Лемке К.В.

научный руководитель канд. техн. наук, проф. Шестаков И.Я.

Сибирский Федеральный Университет

Институт цветных металлов и материаловедения

Загрязнение воды является одной из острейших экологических проблем в мире. Более 90% сточных вод сбрасываются в открытые водоемы без предварительной очистки. В большей мере причиной тому являются сточные воды гальванических производств, содержащие целый ряд ионов металлов, пагубно воздействующих на здоровье людей и окружающую среду. Поэтому рациональное использование водных ресурсов и сохранение чистоты природных вод стало одной из актуальных проблем человечества.

В настоящее время существует большое количество способов очистки воды и водных растворов - механические, химические, электрические, физические, биологические, комбинированные и др.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований комбинированного способа очистки воды от ионов металлов, включающего в себя электрохимический способ и последующую коагуляцию.

Для получения экспериментальных данных на воду воздействовали переменным асимметричным током в электролизере из чередующихся электродов, выполненных в виде пластин. Материал электродов: нержавеющая сталь 12X18H10T, титановый сплав ОТ 4-0. Расстояние между электродами 12 мм. Объем заливаемой воды 1 л. Температура очищаемой воды 20-25 °С. Переменный электрический ток пропусклся через воду в течение 10 минут при силе тока 0,5 А и напряжении на клеммах электродов 4,1 В.

После пропускания переменного электрического тока в воду вводился растворимый коагулянт – сернокислое железо $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, далее вода отстаивалась. При введении в воду коагулянта происходило его растворение и электролитическая диссоциация с последующим образованием малорастворимого гидрата окиси железа (III), выпадающего в осадок в виде хлопьев и выступающего в качестве комплексообразователя. Соотношение начальных концентраций иона-комплексообразователя и удаляемого иона ($C_{\text{оFe}^{2+}}/C_{\text{оi}}$) изменялось от 1:1 до 2,5:1. Время отстаивания воды ($\tau_{\text{отс}}$) изменялось от 1 до 10 суток.

Обработке подвергалась вода, содержащая ионы кадмия (II), меди (II), никеля (II), хрома (VI) и железа (III) с начальной концентрацией в воде 0,5 мг/л. Начальная концентрация иона-комплексообразователя 6,25 мг/л.

Количественный анализ ионов, содержащихся в воде после очистки, проводился на масс-спектрометре Agilent 7500 ICP -MS.

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

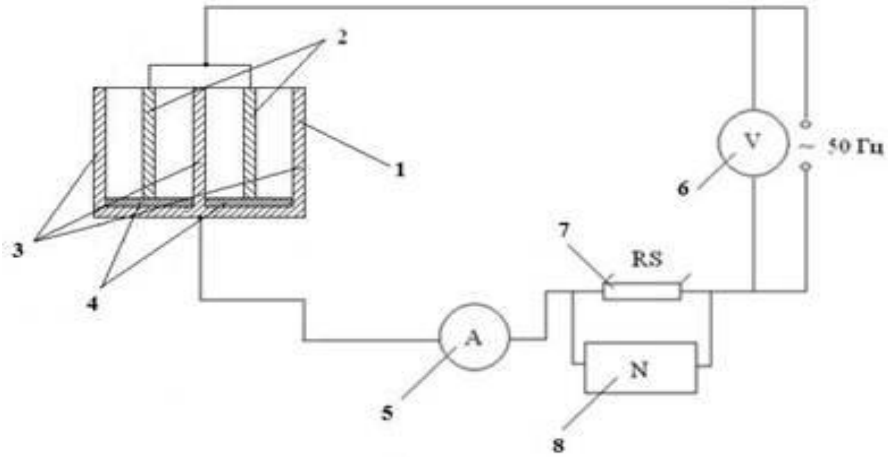


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:
 1 – корпус; 2 – титановые электроды ОТ4-0; 3 – стальные электроды 12Х18Н10Т; 4 – пластины диэлектрические (оргстекло); 5 – амперметр; 6 – вольтметр; 7 – шунт измерительный; 8 – осциллограф С1-83.

Степень очистки определялась по формуле, %:

$$Y = \left(\frac{C_o - C_k}{C_o} \right) 100$$

где C_o , C_k – начальная и конечная концентрации удаляемого иона металла, мг/л.

Удельные энергозатраты W определялись по формуле, (кВт·ч)/м³:

$$W = \frac{IU\tau}{V} 10^{-3}$$

где I – сила тока, А;

U – напряжение на клеммах электродов, В;

τ – время пропускания электрического тока, ч;

V – объем заливаемой воды, м³;

10^{-3} – переводной коэффициент из Вт в кВт.

Исследование влияния соотношения начальных концентраций иона-комплексобразователя и удаляемого иона на степень очистки проводилось при постоянном времени отстаивания (10 суток).

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1 и на рис. 2.

Исследование влияния времени отстаивания на степень очистки проводилось при постоянном соотношении начальных концентраций иона-комплексобразователя и удаляемого иона (2,5:1).

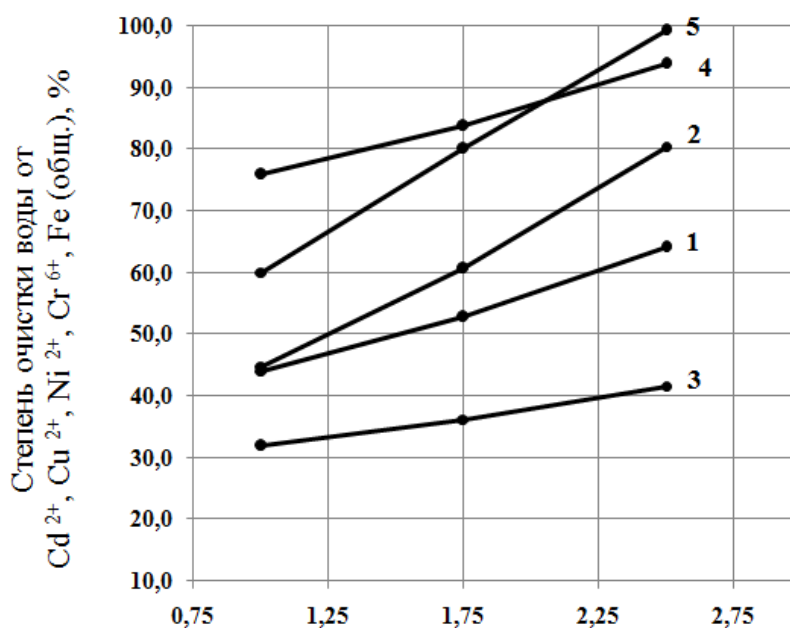
Результаты экспериментальных исследований влияния времени отстаивания на степень очистки представлены в таблице 2 и на рис. 3.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований влияния соотношения начальных концентраций иона-комплексобразователя и удаляемого иона на степень очистки

Ион металла	$C_{oFe^{2+}}/C_{oi}$	C_o , мг/л	C_k , мг/л	Y , %
Cd^{2+}	1:1	0,5	0,308	38,4
	1,75:1		0,247	50,6
	2,5:1		0,180	64,0

Продолжение таблицы 1

Cu ²⁺	1:1	0,5	0,250	50,0
	1,75:1		0,175	65,0
	2,5:1		0,098	80,4
Ni ²⁺	1:1	0,5	0,390	22,0
	1,75:1		0,339	32,2
	2,5:1		0,292	41,6
Cr ⁶⁺	1:1	0,5	0,319	36,2
	1,75:1		0,179	64,2
	2,5:1		0,031	93,8
Fe (общ.)	1:1	3	1,2	60,0
	1,75:1	4,88	0,971	80,1
	2,5:1	6,75	0,054	99,2



Соотношение начальных концентраций
иона-комплексообразователя и удаляемого иона

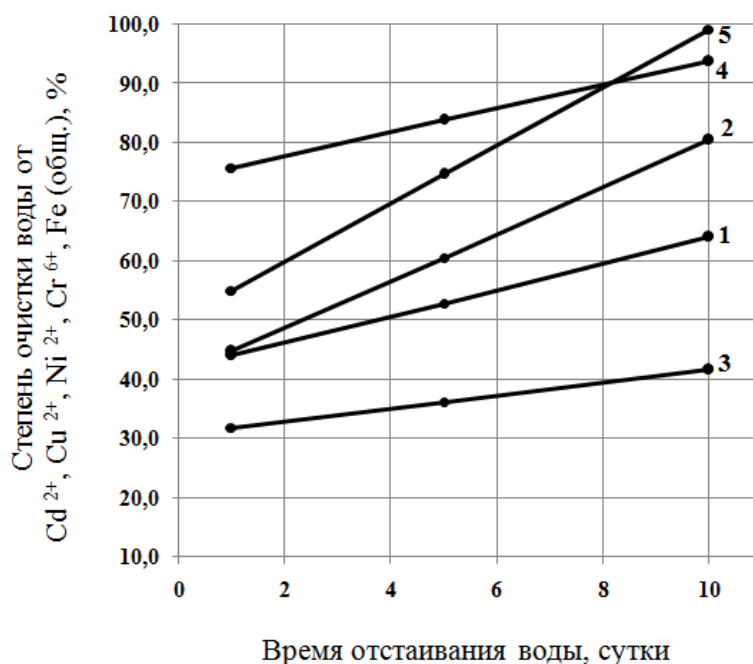
Степень очистки воды от: 1 – кадмия; 2 – меди; 3 – никеля; 4 – хрома; 5 – железа

Рисунок 2 - Зависимость степени очистки воды от соотношения начальных концентраций иона-комплексообразователя и удаляемого иона

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований влияния времени отстаивания на степень очистки

Ион металла	$\tau_{отс}$, сутки	С ₀ , мг/л	С _к , мг/л	Y, %
Cd ²⁺	1	0,5	0,280	44,0
	5		0,236	52,8
	10		0,180	64,0
Cu ²⁺	1	0,5	0,276	44,8
	5		0,197	60,6
	10		0,098	80,4
Ni ²⁺	1	0,5	0,341	31,8
	5		0,319	36,2
	10		0,292	41,6

Cr ⁶⁺	1	0,5	0,121	75,8
	5		0,081	83,8
	10		0,031	93,8
Fe (общ.)	1	3	1,35	55,0
	5	4,88	1,23	74,7
	10	6,75	0,054	99,2



Степень очистки воды от: 1 – кадмия; 2 – меди; 3 – никеля; 4 – хрома; 5 – железа
Рисунок 3 - Зависимость степени очистки воды от времени отстаивания

Из графиков видно, что увеличение соотношения начальных концентраций иона-комплексобразователя и удаляемого иона и времени отстаивания воды приводит к значительному увеличению степени очистки рассматриваемых ионов при малых удельных энергозатратах (0,34 кВт·ч/м³).

При увеличении соотношения начальных концентраций от 1:1 до 2,5:1 степень очистки увеличивается для кадмия в 1,7 раза, меди – 1,6, никеля – 1,9, хрома – 2,6 и железа – 1,7.

При увеличении времени отстаивания воды от 1 до 10 суток степень очистки увеличивается для кадмия в 1,5 раза, меди – 1,8, никеля – 1,3, хрома – 1,2 и железа – 1,8.

Экспериментальные исследования показали, что наибольшая степень очистки для всех рассматриваемых ионов металлов достигается при пропускании через очищаемую воду переменного асимметричного тока с использованием нерастворимых электродов (нержавеющая сталь 12X18H10T, титановый сплав ОТ 4-0), введением коагулянта – сернокислого железа FeSO₄·7H₂O в соотношении начальных концентраций иона-комплексобразователя и удаляемого иона 2,5:1 и отстаиванием воды в течение 10 суток. При этом степени очистки равны: для кадмия 64%, меди – 80,4%, никеля – 41,6%, хрома – 93,8% и железа – 99,2%. Удельные энергозатраты составляют W = 0,34 (кВт·ч)/м³. В то время как при очистке электрохимическим способом с применением нерастворимых электродов и переменного тока удельные энергозатраты составляют 1,5-2 (кВт·ч)/м³.