

*Т. А. ХАРЛАМОВА<sup>1</sup>, А. В. КОЛЕСНИКОВ<sup>1</sup>, М. Т. САРБАЕВА<sup>2</sup>, А. Б. БАЕШОВ<sup>2</sup>, Г. Т. САРБАЕВА<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>«Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева», Москва, Россия,

<sup>2</sup>Институт Органического катализа и электрохимии им. Д. В. Сокольского, Алматы, Республика Казахстан)

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

**Аннотация.** Настоящий обзор посвящен электрофлотационному методу очистки промышленных сточных вод. Рассмотрено современное состояние данного метода на основе анализа литературы за период с 2005 по 2012 годы. Обсуждаются новые данные научных исследований, направленных на повышение эффективности процесса. Показана возможность использования электрофлотации для обработки многокомпонентных систем сточных вод.

**Ключевые слова:** сточные воды, очистка, электрофлотация.

**Тірек сөздер:** ағынды сулар, тазарту, электрофлотация.

**Keywords:** waste water, cleaning, electroflotation.

Начиная с середины прошлого века вопросу очистки сточных вод уделяется серьезное внимание. Задача очистки сточных вод является исключительно многогранной и в зависимости от состава и природы загрязняющих примесей решается различными физико-химическими методами, среди которых успешно зарекомендовали себя электрохимические методы.

Несмотря на то, что последние требуют часто высоких затрат электроэнергии, они оказываются оправданными при решении ряда конкретных проблем и поэтому продолжают исследования по разработке новых процессов электрохимической очистки сточных вод и нахождению путей снижения расхода электроэнергии. Анализ литературных данных за последние несколько лет свидетельствует о достаточно интенсивном развитии таких электрохимических методов как электрофлотация, электрокоагуляция, деструктивное окисление, а также их совместное использование с другими физико-химическими методами. Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки, свою область применения и поэтому требует отдельного рассмотрения. Первая часть обзора посвящена электрофлотационному методу [1-3].

## Экспериментальная часть

**1. Электрофлотационный метод.** Первые сведения об электрофлотации появились в 60-70-е годы, когда стало известно что процесс флотации протекает более интенсивно под действием электролизных газов, чем под действием инертных газов или воздуха [1]. Метод позволяет выде-лять нерастворимые в воде нефтепродукты, смазочные масла, трудно растворимые соединения тяжёлых и цветных металлов, находящихся в стоках в виде устойчивой эмульсии или тонкой дисперсии. Были сконструированы первые электрофлотаторы, которые получили практическое использование для очистки стоков.

Электрофлотация успешно зарекомендовала себя как метод, обеспечивающий высокое качест-во очистки сточных вод при не очень высоких затратах электроэнергии и эффективность для извле-чения токсичных веществ органического и неорганического происхождения, находящихся в растворе в мелкодисперсном состоянии (размер частиц  $\approx$  несколько мкм). Под действием электро-лизных газов ( $H_2$  и  $O_2$ ) примеси всплывают на поверхность, а если они несут электрический заряд (например, масло), то возможен электрофорез: в электрическом поле заряженные частицы движут-ся к электродам. Протекание окислительно-восстановительных реакций на электродах маловероят-но из-за использования низких плотностей тока, однако этот вопрос в литературе практически не освещен.

С 2005 по 2012 года технология электрофлотации получила существенное развитие благодаря работам, проводящимся в МГТУ им. Баумана и РХТУ им. Менделеева. Так, разделение анодных и катодных газов с использованием диафрагментных электрофлотаторов, повысило их производи-тельность почти в два раза [2, 3].

Исследования по электрофлотационной очистке сточных вод с применением малоизнаши-ваемых анодов (ОРТА) от загрязнений в виде взвесей (гидроксиды и фосфаты металлов) и эмуль-сий (нефтепродукты, масла, ПАВ) явились основой создания многоцелевых электрофлотаторов производительностью до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$  с энергозатратами не выше  $0,2\text{-}0,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  [4]. Разработанные технологии нашли отражение в монографии [5].

Метод электрофлотации имеет определенные технологические преимущества перед другими методами. По сравнению с обычной флотацией следует выделить высокую степень дисперсности газовых пузырьков, обеспечивающую эффективность прилипания к ним нерастворимых примесей и возможность извлечения частиц дисперсной фазы различных размеров, а по сравнению с реа-гентным и электрокоагуляционным методами – исключение вторичного загрязнения воды анион-ными и катионными остатками [6]. Отмечаемый при электрофлотации высокий бактерицидный эффект [6, 7] присутствует, как правило, при использовании любых электрохимических методов и широко используется в практике обеззараживания питьевой воды [8].

**Исследования, направленные на интенсификацию и повышение эффективности электро-флотации. Извлечение ПАВ и нефтепродуктов.** Известно, что нефтепродукты и

ПАВ, попадая в водоемы в концентрациях, превышающих ПДК, образуют на поверхности воды пленку, которая препятствует газовому обмену между водой и атмосферой, снижая степень насыщения воды кислородом, что приводит к нарушению экосистемы в водоемах [9].

В работе [10] выявили влияние природы ПАВ на извлечение бензина

из модельных сточных вод, содержащих нефтепродукты (*масло, бензин*) и их композиции, эмульсии моторных топлив (*дизельное топливо и бензин АИ-92*), а также ПАВ различных типов, приведенные ниже:

**анионные** – *алкилбензосульфат натрия (А-40), додецилосульфат натрия (NaDDS) и додецилсульфонат натрия (NaDBS);*

**катионные** – *алкилбензилдиметиламмоний хлорид (катамин АБ), алкилдиметил (2-гидрокси-этил) аммоний хлорид (катинол), тетрадецилтриметиламмоний бромид (ТДТМАБ), гексадецил-тетраметиламмоний бромид (ГДТМБ), дидецилметиламмоний хлорид (септапав);*

**неионогенные** – *синтанол ДС-10, ОС-20, оксанол ЦС-100, полиэтиленоксид ПЭО-1500.*

В качестве коагулянтов традиционно использовали сульфат алюминия. Анализ экспериментальных данных показал, что присутствие анионных ПАВ (NaDDS и NaDBS) приводит к понижению суммарной степени извлечения примесей бензина и ПАВ в сравнимых условиях, что по мнению автора является следствием формирования адсорбционных слоев из ПАВ, препятствующих адгезии газовых пузырьков. В то же время введение впервые для вод указанного состава алюмокремниевого коагулянта-флокулянта (АКФК) в концентрации не более 2,5 мг/л повышает степень извлечения бензина в среднем с 3-6% до 83% в присутствии NaDDS и до 85% в присутствии NaDBS (рисунок 1).

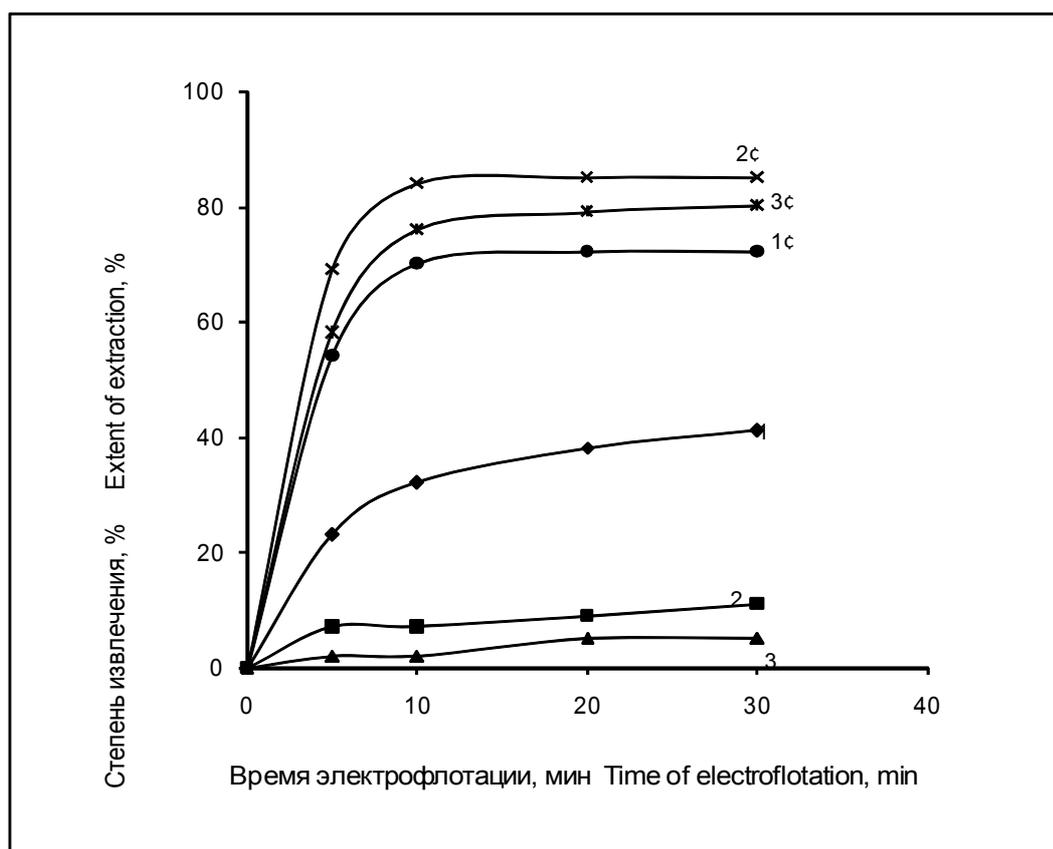


Рисунок 1 – Кинетические кривые электрофлотационной очистки растворов: бензин Аи-92 2,5 мл/л, ПАВ 100 мг/л,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1 г/л, АКФК 2,5 мл/л, pH 5,5-7,5,  $i_v$  0,4 А/л. 1 – бензин, 2 – бензин/NaDDS, 3 – бензин/ NaDBS без предварительной реagentной обработки; 1',2',3'– в присутствии АКФК

Определен диапазон применения электрофлотации: метод эффективен для извлечения ПАВ при их исходной концентрации не более 200 мг/л и моторных топлив при их концентрации до 1500 мг/л. Оптимальные концентрации АКФК составляют 2,5-10 мг/л,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  – 50 мг/л, а флоку-лянта (Суперфлок А-100) – 2 мг/л при степени извлечения примесей органического характера 85-90%. В присутствии анионных ПАВ целесообразно применение сульфата алюминия, а для из-влечения примесей неионогенных и совместного извлечения катионных и анионных ПАВ – АКФК. Для очистки стоков от примесей дизельного топлива и композиции ПАВ, содержащих оксанол ЦС-100 необходимо увеличение дозы АКФК до 10 мг/л.

*Извлечение труднорастворимых соединений (гидроксидов и фосфатов) меди, никеля, цинка и железа в присутствии ПАВ.* Внедрение многочисленных новых технологий нанесения защитных и декоративных покрытий приводит к постоянному усложнению состава сточных вод и возрастанию экологической нагрузки на окружающую среду [11, 12]. В РХТУ им. Д. И. Менделеева проведены комплексные исследования по электрофлотационной очистке многокомпонентных стоков гальванического производства; проанализировано влияние ряда физико-химических факторов на эффективность электрофлотационного метода и рассмотрены примеры его использования в практике водоочистки, в том числе в комбинации с другими методами.

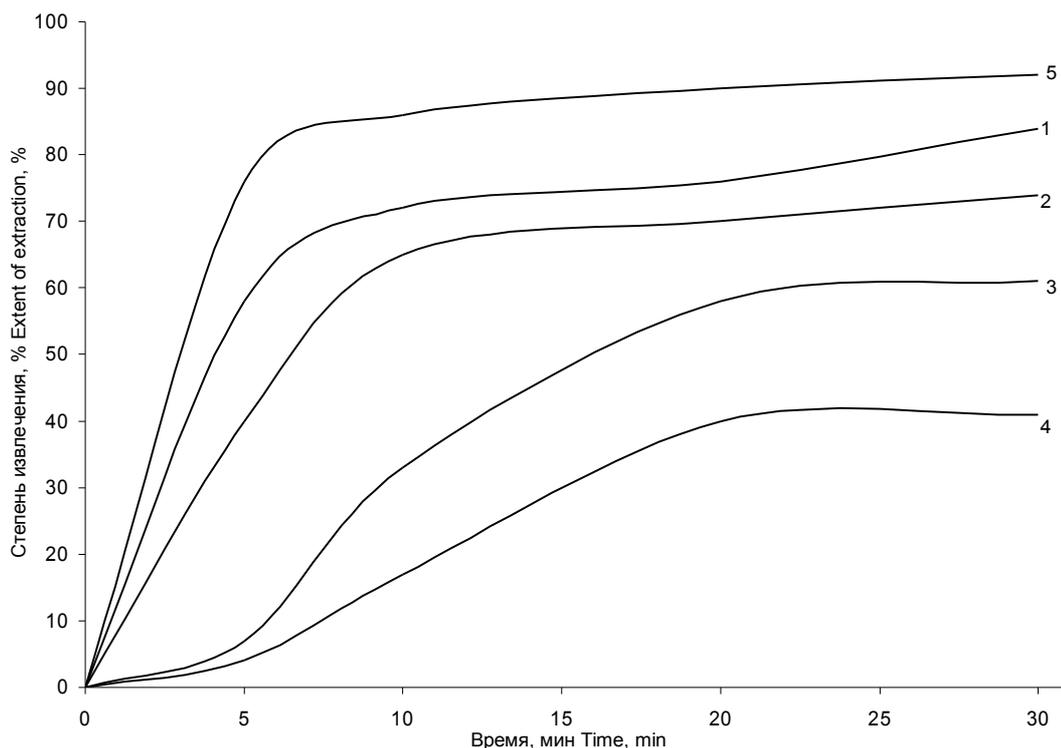


Рисунок 2 – Зависимость степени извлечения  $Zn(OH)_2$  от концентрации ПЭО-1500 при электрофлотации.  $Zn^{2+}$  50 мг/л,  $Na_2SO_4$  1г/л, pH 9,5,  $i_v$  0,4 А/л

В работе [13] объектами исследований служили коллоидно-дисперсные растворы, содержащие труднорастворимые *гидроксиды и фосфаты металлов цинка, меди, железа и никеля*. Исследовано влияние ПАВ различной природы на процесс их электрофлотационного извлечения. Выявлено ано-мально сильно ингибирующее действие *неионогенного ПАВ* – ПЭО-1500, усиливающееся по мере роста его концентрации. Результаты таких исследований на примере  $Zn(OH)_2$  приведены на рисунке 3. Из рисунка 3 видно, что при увеличении концентрации ПЭО-1500 в растворе от 2 мг/л до 100 мг/л степень извлечения ( $\alpha$ , %)  $Zn(OH)_2$  снижается почти в  $\approx 2$  раза.

Определение степени извлечения ПАВ из растворов, содержащих гидроксиды в одинаковых условиях (pH 5,0-6,5;  $C_{ПАВ}$  100 мг/л;  $C_{гидр.}$  100 мг/л,  $i_v$  0,4-0,6 А/л,  $\tau$  10-15 мин) показало, что для извлечения анионных ПАВ (додецилсульфата и додецилбензолсульфоната натрия) наиболее предпочтительно использование коагулянта на основе сульфата алюминия. Степень извлечения достигает 70%. Для извлечения неионогенных ПАВ более эффективно использование АКФК. Степень очистки составляет для синтанола АЛМ-10 – 68%, для препарата ОС-20 – 80% и для оксанола ЦС-100 – 58%. Наличие катионных и анионных ПАВ в водных растворах, содержащих ионы меди и железа, повышает степень извлечения как ионов металлов (99%), так и ПАВ за счёт их

сорбции на поверхности гидроксидов. Степень извлечения некоторых ПАВ может достигать 50-60% [14].

В отличие от *гидроксидов* металлов электрофлотационное извлечение *фосфатов* соответствующих металлов ( $Zn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  и  $Ni^{+2}$ ) сопряжено с затруднениями, особенно в присутствии неионогенных ПАВ [13]. В цитируемой работе были измерены значения  $\zeta$ -потенциала и средние гидродинамические радиусы коллоидных частиц гидроксидов и фосфатов металлов, что позволило получить экспериментальное доказательство *влияния ПАВ* на агрегативную устойчивость мицеллярных структур. *Катионные ПАВ* (10-100 мг/л) заметно, в среднем на 10-15 мВ, повышают  $\zeta$ -потенциал дисперсной фазы, *анионные ПАВ* снижают его на 20-25 мВ, а *неионогенные ПАВ* мало влияют на заряд поверхности частиц. Однозначного влияния ПАВ различного типа на средние гидродинамические радиусы коллоидных частиц не обнаружено, поэтому этот вопрос требует дополнительного исследования.

При добавлении к системе *гидроксид-ПАВ* эмульсий масла и дизельного топлива эффективность удаления дисперсной фазы снижается в среднем на 30-35%.

*Роль поверхностных характеристик дисперсной фазы и состава среды на эффективность электрофлотации.* Проанализирована [15] возможность интенсификации и повышения эффективности электрофлотационного метода не только за счет регулирования режимов процесса, но и путем изменения размера и заряда частиц. Кроме того сфера изучаемых объектов дополнена сульфидами, фосфатами и карбонатами Со и Мп. Исследовано влияние состава среды, рН раствора (6-12), присутствие фоновых солей, температуры (20-90°C) и присутствия флокулянтов на величину  $\zeta$ -потенциала и размер частиц дисперсной фазы, а также влияние этих факторов на степень извлечения труднорастворимых соединений из модельных и промышленных сточных вод.

Установлено, что в присутствии таких *анионов-осадителей*, как  $CO_3^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  и  $S^{2-}$ , средний гидродинамический диаметр частиц ( $d_{cp.}$ ) в 1,2-2,0 раза меньше, а  $\zeta$ -потенциал принимает более отрицательное значение, чем в присутствии  $OH^-$  анионов, что в частности видно из данных в приведенной ниже таблице 1 для труднорастворимых солей никеля.

Таблица 1 – Влияние природы иона-осадителя на размер,  $\zeta$ -потенциал и степень извлечения труднорастворимых солей никеля

№ п/п	Параметр	Природа иона-осадителя			
		$OH^-$	$CO_3^{2-}$	$PO_4^{3-}$	$S^{2-}$
1	$d_{cp.}$ мкм	50	34	27	43

2	$\zeta$ , мВ	-1	-7	-25	-41
3	$\alpha$ ,% (2 мин.)	70	25	4	2
4	$\alpha$ ,% (10 мин.)	98	91	40	23
Ni 50 мг/л, An <sup>n-</sup> 75 мг/л, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1 г/л, i <sub>v</sub> 0,2 – 0,4 А/л.					

Анализ экспериментальных данных показал, что наиболее эффективно извлекаются крупные частицы с небольшим отрицательным зарядом  $\zeta$ -потенциала (гидроксиды и карбонаты) и затруднено извлечение мелкодисперсных частиц с высоким отрицательным зарядом ( $\zeta \leq -25$  мВ), характерным для фосфатов и сульфидов металлов. Введение в раствор *флокулянтов* приводит к росту  $d_{cp}$  в среднем в 1,5-2,0 раза (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние природы флокулянта и иона-осадителя на средний размер частиц дисперсной фазы ( $d_{cp}$ )

№ п/п	Природа иона- осадителя	Природа флокулянта			
		–	Анионный А- 137	Катионный С-496	Неионный N-300
1	ОН <sup>-</sup>	0	75	80	73
2	СО <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	4	85	77	81
3	РО <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	7	80	69	59

В ранних работах по электрофлотации влиянием *неорганических солей* (обычно хлоридами и сульфатами) пренебрегали. Детальное изучение этого вопроса [15] продемонстрировало достаточно заметное влияние сильных электролитов в диапазоне концентраций от 0,1 до 100 г/л на размер частиц дисперсной фазы и эффективность их извлечения. Сильные электролиты, особенно при высоких концентрациях (до 100 г/л) способны до 60% понижать размер частиц и до 50% снижать качество очистки. Из данных таблица 5 и рисунок 4 видны затруднения извлечения коллоидных частиц из растворов, содержащих нитрат-анионы из-за сильного уменьшения размера частиц в их присутствии.

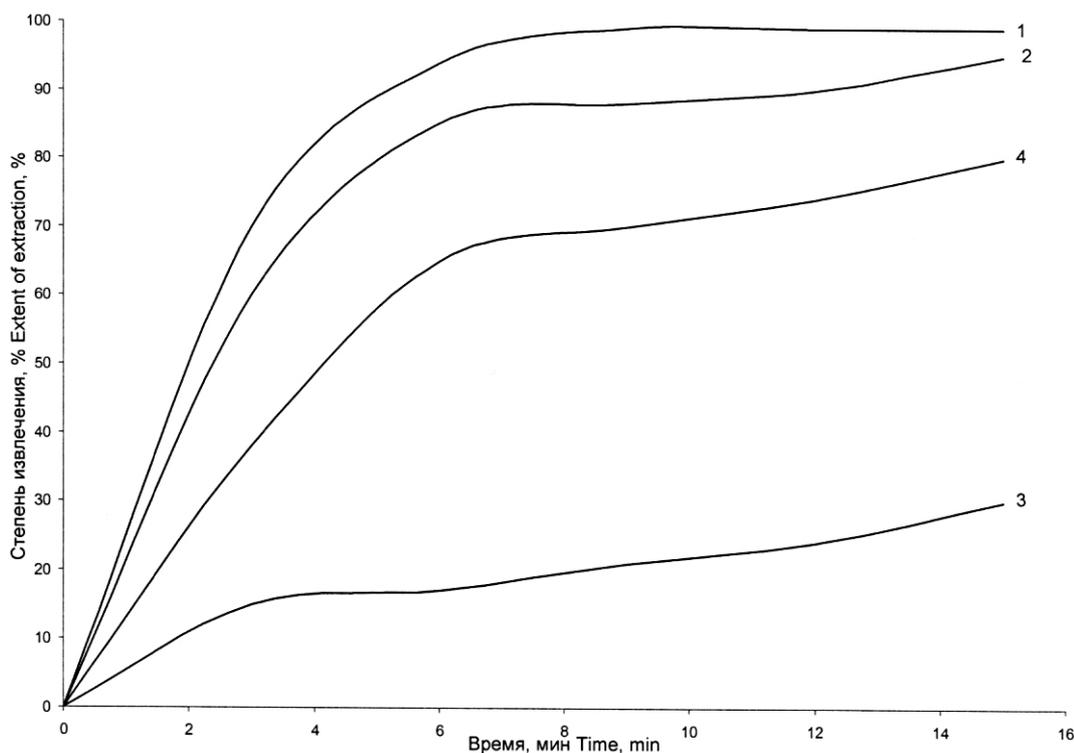


Рисунок 3 – Кинетические зависимости степени извлечения частиц гидроксида Ni ( $\text{Ni}^{2+}$  50 мг/л) в зависимости

от природы электролита (100 мг/л): 1 – без электролита, 2 – NaCl, 3 – NaNO<sub>3</sub>, 4 – Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.  $i_v$  0,4 А/дм<sup>2</sup>.

При повышении *температуры* раствора от 20 до 90°C степень извлечения частиц дисперсной фазы снижается. Это можно проследить на примере извлечения катионов меди (рисунок 4). Эта тенденция хорошо известна из курса коллоидной химии [16] и согласуется с рядом других работ, из которых можно отметить работы Сухарева Ю. А. с сотр. (ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ)). Неблагоприятное влияние повышения температуры на устойчивость пены объясняется десорбцией пенообразователя с межфазной поверхностью и понижением вязкости дисперсной среды.

*Влияние блескообразующих добавок на электрофлотационное извлечение гидроксидов ме-таллов.* В [13] проведены пробные опыты по влиянию блескообразующих органических добавок, вводимых в электролиты для улучшения свойств защитно-декоративных покрытий (ЦКН-11, ЦКН-12, ЦКН-14), на электрофлотационное извлечение гидроксида Ni в зависимости от времени. Наиболее значимые результаты представлены графически на рисунке 6.

Из рисунка видно, что каждая из добавок оказывает разнонаправленное влияние, в то время как в присутствии всех трех добавок одновременно степень извлечения практически не меняется. Однако экспериментального материала недостаточно и исследования в этом направлении следует продолжить.

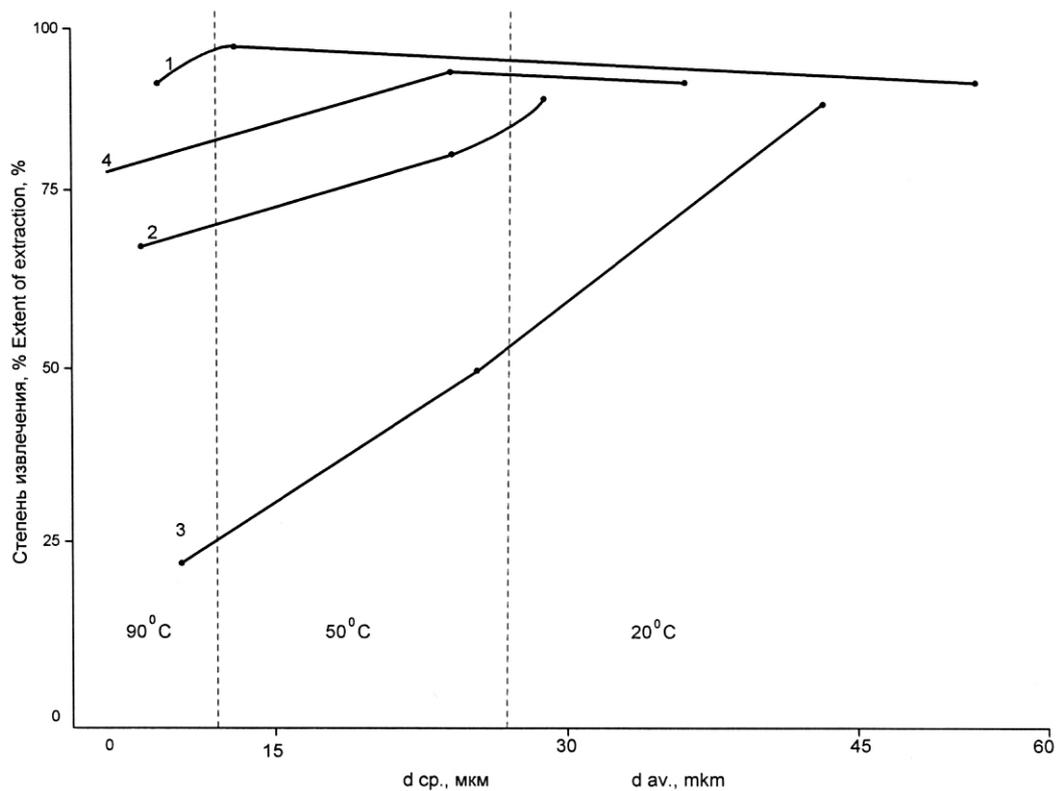


Рисунок 4 – Зависимость максимальной степени извлечения меди от среднего гидродинамического диаметра частиц дисперсной фазы в растворах электролитов с температурой 20, 50 и 90°C. Электролиты, как на рисунке 3.

$\text{Cu}^{+2}$  50 мг/л,  $i$  0,2–0,4 А/дм<sup>2</sup>, рН 9,0–9,5

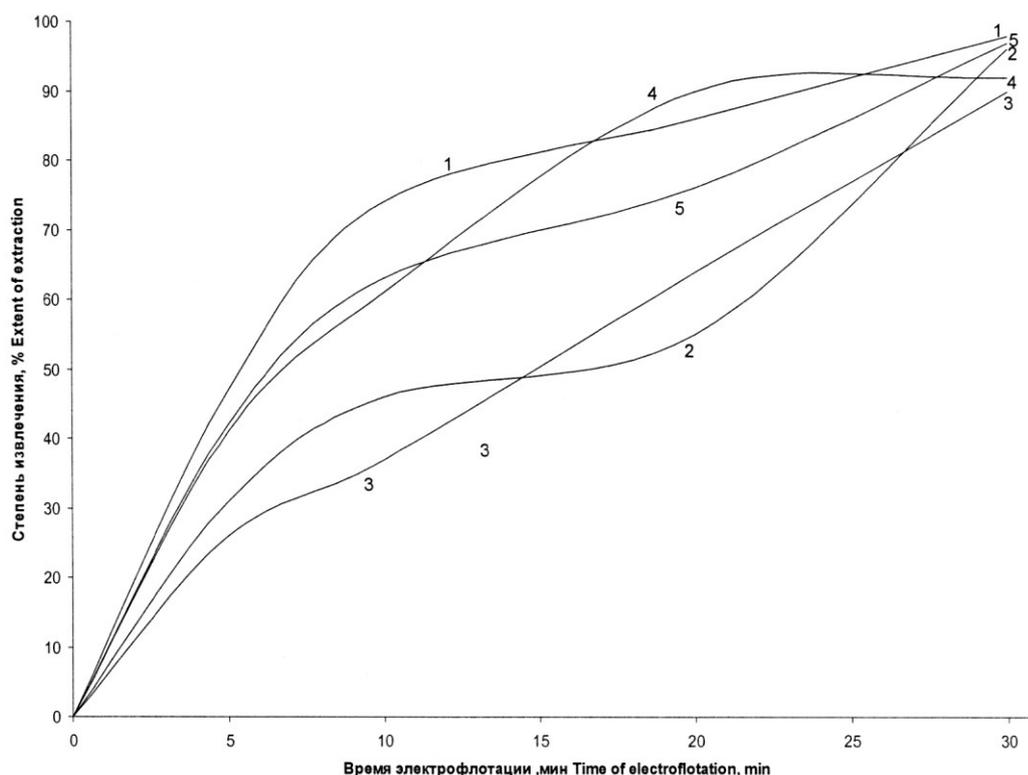


Рисунок 5 – Влияние блескообразующих добавок (ЦКН-11, ЦКН-12 и ЦКН-14)

на степень извлечения  $Ni^{2+}$ , pH 10,5,  $Ni^{2+}$  50 мг/л, ЦКН 1 мл/л,  $I_v$  0.4 А/л.

1 – ЦКН-12, 2 – ЦКН-11, 3 – ЦКН-14, 4 – смесь ЦКН, 5 – без ЦКН

*Извлечение кальция и магния из воды с высоким содержанием солей жесткости и минеральных солей.* Новым перспективным направлением применения метода электрофлотации является использование его для снижения **общей жесткости** как природных и технологических вод, так и как способ регенерации элюатов ионного обмена [17]. Определены технологические параметры и подобраны флокулянты для извлечения ионов кальция и магния из растворов с высоким содержанием солей жесткости (5,5–25 мг-экв/л). Отмечается, что флокулянт Praestol 2540 интенсифицирует процесс извлечения катионов: для сульфатов и карбонатов с концентрацией до 10 г/л степень извлечения повышается на 30%, а для хлоридов и нитратов с концентрацией до 100 г/л – на 40%.

**Комбинированные методы очистки сточных вод.** Продолжаются работы, направленные на повышение эффективности процесса электрофлотации в комбинации с другими методами.

В работе [18] изучался процесс электрофлотации в комбинации с электрокоагуляцией для очистки сточных вод с ХПК от 780 до 1000 мг/л (ПАВ 55-75 мг/л, pH 4–9) в лабораторной электрохимической ячейке, которая имела два концевых электрода из титана (катод и анод), между которыми располагались три пластины из алюминия. Последние устанавливались таким образом, чтобы образовывался лабиринт, через который протекала сточная вода. В результате биполярной работы алюминиевых пластин образуется коагулянт –  $Al(OH)_3$ , а роль флотирующего агента выполняет выделяющийся

на катоде водород. После электрохимической обработки стоки поступают в сепаратор. За общее время обработки 10 мин максимальное снижение ХПК достигало 80%, ПАВ – 98%, мутности – 99% при плотности тока  $1,6 \cdot 10^{-2}$  А/см<sup>2</sup>.

В результате опытных испытаний [19] продемонстрировано, что степень очистки сточных вод производства белково-витаминных концентратов повышается, когда электрофлоационной очистке предшествует электрокоагуляция. В качестве растворимых анодов рекомендуется использование пластин из нержавеющей стали и алюминия. Последовательную обработку электрокоагуляцией, а затем ЭФ предлагают авторы [20] для очистки питьевой воды.

Представляет интерес метод, в котором для очистки цианосодержащих сточных вод предложено совмещение электрофлотационного метода с реагентным [21]. Цианосодержащие сточные воды гальванических производств после усреднения и коррекции рН до рН 10,5–11,5 обрабатываются раствором гипохлорита натрия, а затем поступают в электрофлотатор, где происходит одновременно разрушение цианидных комплексов металлов, окисление цианид-ионов до нетоксичных продуктов CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> и удаление дисперсных веществ. Остаточная концентрация цианид-ионов не превышает 0,0–10,05 мг/л, а степень удаления дисперсных частиц не менее 98%.

**Конструкции электрофлотаторов.** Конструкции электрофлотаторов постоянно совершенствуются. С целью повышения эффективности очистки сточных вод сконструирован комбинированный электрофлотомембранный аппарат проточного типа, совмещающий прямоточную флотацию и противоточную электрофлотацию [22]. Сточная вода одновременно со сжатым воздухом подается через мембранный блок в камеру флотации. Такая конструкция позволяет получать более мелкие газовые пузырьки и увеличить скорость их всплытия. Модульная установка продемонстрировала степень извлечения гидроксидов металлов (Ni, Fe, Zn, Cu) 80-90% и успешно прошла апробацию в непрерывном режиме на сточных водах гальванического предприятия.

Повышение качества очистки достигается при использовании усовершенствованного электро-флотационного аппарата с проницаемой перегородкой между электродами (рисунок 6) [19].

Для предотвращения создания в электрофлотационном аппарате взрывоопасной смеси H<sub>2</sub> и O<sub>2</sub> и возможность раздельного их использования предложены два варианта узла электролиза с горизонтальным и вертикальным расположением электродов и диафрагмы (рисунок 7) [2].

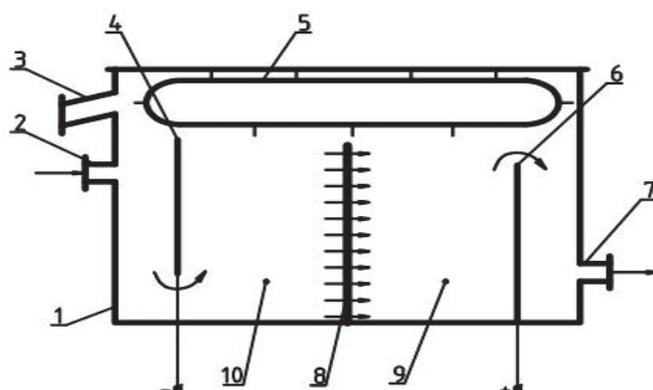


Рисунок 6 – Схема электрофлотационного аппарата с проницаемой перегородкой:

- 1 – корпус аппарата; 2 – входной патрубок; 3 – патрубок вывода пенного продукта; 4 – катод; 5 – пеногон;  
6 – анод; 7 – выходной патрубок; 8 – проницаемая перегородка; 9 – анолит; 10 – катодит

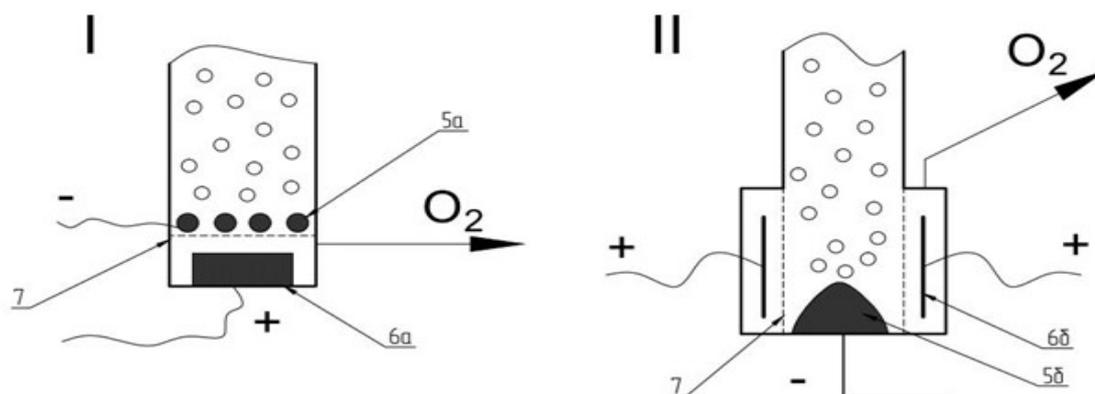


Рисунок 7 – Конструкция узла электролиза: I – 5а – катод (сетка из стальных прутков 3 мм); 6а – анод (графит); 7 – диафрагма; II – 6б – анод (Ni); 5б – катод (графит), 7 – диафрагма

Профессором А. Башовым с сотрудниками [24, 25] показана возможность получения сульфата и хлорида алюминия из металлических алюминия при поляризации однофазовым и трехфазным переменным током.

В работе [26-29] приведены данные по флотационной очистке сточных вод от мелких частиц нефтепродуктов нефтехимических производствах.

**Заключение.** Как показано в настоящем обзоре, возможность использования электрофлотации для очистки сточных вод продолжает привлекать внимание исследователей. Несомненна перспективность применения метода для очистки многокомпонентных сточных вод, содержащих ПАВ различных типов в концентрации до

200 мг/л, металлы (в виде труднорастворимых соединений) до 300 мг/л, нефтепродукты (масло и ДТ) до 2.5 мг/л, для снижения общей жесткости с 5,5–25 мг-экв/л до остаточной – 1,2 мг/л. При этом метод электрофлотации более эффективен для снижения кальциевой жесткости. Обработку вод рекомендуется вести при объемной плотности тока 0,2–0,6 А/л в течение не более 30 минут, рН очищаемых стоков должно быть преимущественно 9–11, в присутствии флокулянтов и коагулянтов. Затраты электроэнергии для ЭФ очистки многокомпонентных стоков в оптимальных условиях в среднем составляют 0,25–0,50 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что не превышает значения для одно- и двух-компонентных систем компонента.

Учитывая, что снижение концентрации токсичных веществ электрохимическими методами до ПДК в большинстве случаев экономически не оправдано, то в предлагаемых технологиях предусмотрена стадия доочистки (сорбционная, мембранная и др.) [10, 13, 15, 17]. Авторы [23] для сточных вод гальванического производства предложили новые алюмосиликатные фильтрующие материалы, эффективные для стоков сложного многокомпонентного состава.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Мамаков А.А. Современное состояние и перспективы применения электрофлотации веществ. – Кишинев.. Изд-во «Штиинца», 1975. – 160 с.

2 Ксенофонтов Б.С., Бондаренко А.В., Капитонова С.Н. Разработка электрофлотационных аппаратов и их испытание // Электронное научно-техническое издание. Наука и образование. 7 июля. 2012. Режим доступа: <http://www.technomag.edu.ru>.

3 Электрофлотационный аппарат // Ксенофонтов Б.С., Капитонова С.Н., Бондаренко А.В., Старостин И.И. Патент N2011127516, заявл. 06.07.2011, опублик. 27.12.2011.

4 Электрофлотационный модуль глубокой очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов / РХТУ – экономике России. Завершенные науч. разработки: Справочник. – М.: Изд-во РХТУ, 2002. – С. 93.

5 Колесников В.А., Ильин В.И., Капустин Ю.И., Вараксин С.О., Кисиленко П.Н., Кокарев Г.А. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий. – М.: Химия, 2007. – 175 с.

6 Павлов Д.В., Вараксин С.О. Утилизация промывных вод систем обезжелезивания // Экол. пр-ва. – 2011. – № 1. – С. 57-59.

7 Khelifa A., Moulay S., Naceur A.W. Treatment of metal finishing effluents by the electroflotation technique // Desalination. – 2005. – Vol. 181, N 1-3. – P. 27-33.

8 Бахир В.М. Электрохимическая активация – 2012: Новые разработки и перспективы // Водоснабжение и канализация. Май-июнь 2012. – С. 65.

9 Павлов Д.В., Вараксин С.О., Колесников В.А., Васильев Р.Н. Универсальная технология очистки сточных вод от нефтепродуктов // Сантехника. 2011. – №3. – С. 32-37.

10 Бондарева Г.М. Разработка электрофлотационного процесса извлечения поверхностно-активных веществ и моторных топлив из водных стоков: Автореф. дис.... к. хим. наук. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2010. – 16 с.

11 Быкова Я.П., Ермоленко Б.В. Задача оптимального проектирования системы очистки сточных вод гальванического производства // Химическая технология. 2009. – Т. 10, № 10. – С. 623-630.

12 Баличенко О.И. Электрохимические методы, предлагаемые для очистки иловой воды от ионов тяжелых металлов // Вестник донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2011. – № 5(91). – С. 50. Режим доступа: [http://donnasa.edu.ua/ru/publishing\\_house/vestnik](http://donnasa.edu.ua/ru/publishing_house/vestnik).

13 Колесников А.В. Влияние поверхностно-активных веществ на электрофлотационное извлечение трудно растворимых соединений меди, никеля, цинка в процессах очистки сточных вод: Дис. ... к.т.н. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 160 с.

14 Воробьева О.И., Колесников А.В., Бондарева Г.М. Электрофлотационный процесс извлечения ПАВ из жидких техногенных отходов // Всероссийская конференция «Актуальные научно-технические проблемы химической безопасности». – М., 18-19 мая 2011. – Тезисы докладов. – С. 88.

15 Бродский В.А. Роль поверхностных характеристик дисперсной фазы и состава среды в интенсификации и повышении эффективности электрофлотационного процесса очистки сточных вод: Дис. ... к. т. н. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 190 с.

16 Лукьянов А.Б. Физическая и коллоидная химия. Учебник для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 288 с.

17 Марченко О.В. Разработка электрофлотационной технологии извлечения соединений кальция и магния из воды с высоким содержанием солей жесткости и минеральных солей: Дис. ... к. техн. наук. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2010. – 158 с.

18 Ge Jiantuan, Qu Jiuhui, Lei Pengju, Liu Huijuan. New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater Separ. and Purif. Technol.. 2004. – 36, N 1. – P. 33-39.

19 Ксенофонов Б.С., Капитонова С.Н., Бондаренко А.В. Электрофлотационная обработка сточных вод микро-биологических производств // Электронное научно-техн. издание. Наука и образование. 10 окт. 2011. Режим доступа: <http://www.technomag.edu.ru>.

20 Горшков А.С., Кокурин В.Б., Сабатович В.Е. Способ электрохимической очистки питьевой воды и устройство для его реализации. Пат. России 2417951, МПК C022F 1/463 (2006.01). Опубл. 10.05.2011.

21 Павлов Д.В., Кисиленко П.Н., Колесников В.А. Очистка сточных вод гальванических производств судостроительных предприятия // Водоснабжение и канализация. – Май-июнь 2012. – С. 52.

22 Павлов Д.В. Интенсификация и повышение эффективности электрофлотомембранного процесса очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов: Дис. ... к. т. н. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2009. – 16 с.

23 Левкин Н.Д., Комиссаров Н.С., Мухина Н.Е. Сорбционная очистка сточных вод гальванического производства // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 12. – С. 45.

24 Баешов А.Б., Баешова А.К., Сарбаева Г.Т. Способ получения сульфата алюминия. Инновационный патент РК №22903 от 16.07.09 опубл. 15.09.2010г.

25 Сарбаева М.Т., Баешов А.Б., Сарбаева Г.Т. Алюминийді үш фазалы өндірістік тоқпен поляризациялап еріту арқылы алюминий (III) хлоридін алу // Тр.V Международн. научно-практич. конф. «Проблема инновационного развития нефтегазовой индустрии». – Алматы: КБТУ, 2013. – Т. 2. – С. 135-140.

26 Журинов М.Ж., Баешов А.Б., Серикбаев Б., Жумабай И. Электрофлотатор для очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов // Пред. патент РК № 18263 от 19.07.05 опубл. 15.02.2007.

27 Баешов А.Б., Журинов М.Ж., Серикбаев Б., Жумабай И. Очистка сточных вод от нефти и нефтепродуктов электрофлотационным методом // Нефть и газ. – 2005. – № 2. С. 77-83.

28 Журинов М.Ж., Баешов А.Б., Серикбаев Б., Жумабай И. Исследования эффективности сточных вод от нефти и нефтепродуктов электрокоагуляционно-флотационным методом // Известия НАН РК. Серия хим. – 2005, № 1. – С. 3-10.

29 Журинов М.Ж., Баешов А.Б., Серикбаев Б., Жумабай И. Электрофлотационный метод очистки сточных вод от эмульгированных загрязнений нефти и нефтепродуктов // Доклады НАН РК. – 2005, № 1. – С. 6-10.

## REFERENCES

- 1 Mamakov A.A. Kishinev. "Shtiints's" publishing house **1975**, 160 (in Russ).
- 2 Ksenofontov B. S., Bondarenko A.V. Kapitonova S. N. Science and education. **2012**, July 7. Mode: <http://www.technomag.edu.ru> (in Engl).

3 Ksenofontov B. S., Kapitonova S. N., Bondarenko A.V. Starostin I.I. Patent N2011127516, 06.07.2011, 27.12.2011 (in Russ).

4 RHTU - economy of Russia. Finished науч. development: Directory/M: RHTU publishing house. **2002**, 93(in Russ).

5 Kolesnikov V.A. Ilyin V. I. Kapustin Yu.I. Varaksin S. O., Kisilenko P. N., Kokarev G. A. Chemistry. **2007**, 175 (in Russ).

6 Pavlov D. V., Varaksin S. O. Ekol.Pr-va. **2011**,1, 57-59 (in Russ).

7 Khelifa A. Moulay S. Naceur A.W. Desalination. **2005**, 181, 1-3, 27 – 33 (in Russ).

8 Bakhir V. M. Water supply and sewerage. May-June **2012**, 65(in Russ).

9 Pavlov D. V., Varaksin S. O., Kolesnikov V.A. Vasilyev R. N. Bathroom equipment. **2011**, 3, 32-37 (in Russ).

10 Bondarev G. M. Avtoref. yew. to - that chemical sciences. RHTU of D.I.Mendeleev. **2010**, 16 (in Russ).

11 Bykovo Ya.P. Ermolenko B. V. Chemical technology. **2009**, 10, 10, 623-630 (in Russ).

12 Balichenko O. I. Messenger of the Donbass national academy of construction and architecture. **2011**, 5, 91, 50. Access mode: [http://donnasa.edu.ue/ru/publishing\\_house/vestnik](http://donnasa.edu.ue/ru/publishing_house/vestnik) (in Engl).

13 Kolesnikov A.V. Diss. to. so-called, RHTU M of D.I.Mendeleev. **2012**, 160 (in Russ).

14 Vorobyov O. I. Kolesnikov A.V. Bondarev G. M. M. 18-19, **2011**, 88 (in Russ).

15 Brodsky V.A. Дисс. to. so-called, RHTU M of D.I.Mendeleev. **2012**, 190 (in Russ).

16 Lukyanov A.B. The textbook for technical schools. Chemistry. **1988**, 288 (in Russ).

17 Marchenko O. V. Diss. RHTU of D.I.Mendeleev. **2010**, 158 (in Russ).

18 Ge Jiantuan, Qu Jiuhui, Lei Pengju, Liu Huijuan. Technol. **2004**, 36, 1, 33-39 (in Russ).

19 Ksenofontov B. S., Kapitonova S. N., Bondarenko A.V. Access mode: <http://www.technomag.edu.ru> (in Russ).

20 Ampere-second pots. Kokurin V. B., Sabatovich V. E. Stalemate. Russia 2417951, MPK S022F 1/463 (2006.01), 10.05.2011 (in Russ).

21 Pavlov D. V., Kisilenko P. N., Kolesnikov V.A. Water supply and sewerage. **2012**, 52 (in Russ).

22 Pavlov D. V. Diss. to. so-called. RHTU of D.I.Mendeleev. **2009**, 16 (in Russ).

23 Levkin N. D., Commissioners of H.C., Mukhin N. E. Health and safety. **2012**, 12, 45 (in Russ).

24 Bayeshov A.B., Bayeshova A.K., Sarbaeva G.T. Inovasionni patent RK 22903, 16.07.09, 15.09.2010 (in Russ).

25 Sarbaeva M.T., Bayeshov A.B., Sarbaeva G.T. Tr.V Mejdunar. Nauchno-praktich. konf. Almaty, KBTU, 2013, 2, 135-140 (in Russ).

26 Jurinov M.J., Bayeshov A.B., Serikbayev B., Jumabai I. Pred. patent RK 18263 19.07.05, 15.02.2007 (in Russ).

27 Bayeshov A.B., Jurinov M.J., Serikbayev B., Jumabai I. Neft I gaz. 2005, 2, 77-83 (in Russ).

28 Jurinov M.J., Bayeshov A.B., Serikbayev B., Jumabai I. Izvestya NAN RK, 2005, 1, 3-10 (in Russ).

29 Jurinov M.J., Bayeshov A.B., Serikbayev B., Jumabai I. Dokladi NAN RK. 2005, 1, 6-10 (in Russ).

## Резюме

*Т. А. Харламова<sup>1</sup>, А. В. Колесников<sup>1</sup>,*

*М. Т. Сарбаева<sup>2</sup>, Ә. Б. Баешов<sup>2</sup>, Г. Т. Сарбаева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Д. И. Менделеев атындағы Ресей химико-технологиялық университеті, Мәскеу, Ресей,

<sup>2</sup>Д. В. Сокольский атындағы Органикалық катализ және электрохимия институты,

Алматы, Қазақстан Республикасы)

## АҒЫНДЫ СУ ТАЗАЛАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДАҒЫ ПЕРСПЕКТИВАЛЫ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҮДЕРІСТЕР

Бұл шолу мақалада индустриялық ағынды сулардың құрамындағы органикалық заттардан электрофло-тациялық әдіс арқылы тазалау туралы 2005–2013 жылғы әдеби мәліметтер келтірілген. Ғылыми-зерттеу үдерістері тиімділігінің артуына бағытталған жаңа деректер талданған. Электрофлотациялық әдіс арқылы ағынды сулардағы көпкомпонентті жүйені өңдеу мүмкіншіліктері мен тиімділігі көрсетілді.

**Тірек сөздер:** ағынды сулар, тазарту, электрофлотация.

## Summary

*T.A.Harlamova<sup>1</sup>, A.V.Kolesnikov<sup>1</sup>, M.T. Sarbaeva<sup>2</sup>, A.B.Bayeshov<sup>2</sup>, G.T. Sarbaeva<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>JSC «D. E. Mendeleeva Russian University of Chemical-Technology», Moscow, Russia,

<sup>2</sup>JSC «D. V. Sokolsky Institute of Organic Catalysis and Electrochemistry»

Almaty, Republic of Kazakhstan

### ADVANCED ELECTROCHEMICAL METHODS OF WASTE WATER TREATMENT

The first part of the review is devoted to method of electroflotation for industrial waste water treatment. The current state of the method based on analysis of the literature from 2005 to 2013 is discussed . New research data on possibilities of improvement of process electroflotation efficiency and use it for multi-component system waste water treatment are presented.

**Keywords:** waste water, cleaning, electroflotation.

*Поступила 05.09.2013 г.*