

На правах рукописи

Перфильева Анна Владимировна

**Интенсификация и повышение эффективности
электрофлотационного процесса извлечения
малорастворимых соединений хрома (Ш)
и свинца из водных растворов**

05.17.03 – технология электрохимических процессов
и защита от коррозии

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2015

Работа выполнена на кафедре технологии электрохимических процессов
Российского химико-технологического университета имени Д.И.Менделеева

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Ильин Валерий Иванович,
ведущий научный сотрудник кафедры
технологии электрохимических процессов
Российского химико-технологического
университета имени Д.И.Менделеева

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Невский Александр Владимирович,
профессор кафедры общей химической
технологии Ивановского государственного
химико-технологического университета

кандидат технических наук, доцент
Одиноква Ирина Вячеславовна,
доцент кафедры «Производство и ремонт
автомобилей и дорожных машин»
Московского автомобильно-дорожного
государственного технического университета

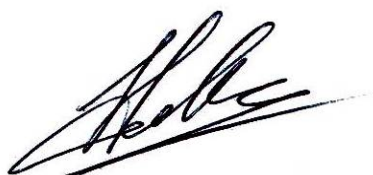
Ведущая организация ЗАО «ЭКОИНЖКОМ»

Защита состоится «28» мая 2015 г. в 10.00 в конференц-зале (ауд.443) на
заседании диссертационного совета Д 212.204.06 в Российском химико-
технологическом университете им. Д.И. Менделеева по адресу:
125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре
РХТУ им. Д.И. Менделеева

Автореферат диссертации разослан «___» апреля 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.06



Новиков В.Т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из электрохимических методов, используемых в практике очистки производственных сточных вод, является электрофлотация, при котором извлечение загрязняющих веществ происходит при помощи электролизных пузырьков. Несмотря на большие потенциальные возможности этого метода, имеется ряд дисперсных систем, содержащих гидрофильные частицы малорастворимых соединений цветных и тяжелых металлов, в частности, хрома (III) и свинца (II), являющихся агрегативно устойчивыми и обладающими канцерогенными и кумулятивными свойствами, при очистке которых, данный метод не обеспечивает требуемой степени извлечения. В связи с чем, создание новых и изыскание путей интенсификации и повышения эффективности существующих способов и технологических приемов электрофлотационной очистки сточных вод является актуальной научной задачей.

Данное направление исследования соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Рациональное природопользование», и Перечню критических технологий Российской Федерации – раздел «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения», утвержденным Президентом Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899. Работа выполнялась в рамках федеральной целевой программы Минпромторга России: «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации на 2009–2013 годы» по теме «Разработка технологий, обеспечивающих предотвращение образования и ликвидацию химически опасных отходов гальванических производств» (ГК № 9411.1007500.13.971); Минобрнауки России «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» по темам «Разработка технологических основ концентрирования, разделения и выделения цветных металлов для переработки жидких и твердых отходов металлургических и машиностроительных предприятий и получения новых товарных продуктов» (ГК № 16.515.11.5026), а также в рамках хоздоговорных работ.

Цель работы. Интенсификация и повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений хрома (III) и свинца (II) из водных растворов.

Научная новизна защищаемых в диссертации результатов заключается в следующем:

– установлены закономерности интенсификации и повышения эффективности электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений хрома (III) и свинца (II) из водных растворов в зависимости от их дисперсных и поверхностных свойств, технологических и гидродинамических режимов, конструктивных характеристик электрофлотационных аппаратов;

– предложен теоретически обоснованный и экспериментально подтвержденный подход к интенсификации электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений хрома (III) и свинца (II) из водных растворов;

– созданы новые технологические и конструктивные разработки, направленные на интенсификацию и повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения соединений тяжелых и цветных металлов из сточных вод, научная новизна которых подтверждена 3 патентами Российской Федерации;

– усовершенствованы технологии электрофлотационной очистки сточных вод от малорастворимых соединений хрома (III) и свинца (II).

Практическая значимость работы.

Определены условия и установлены оптимальные технологические параметры проведения электрофлотационного процесса в проточном и непроточном режимах, при которых степень извлечения малорастворимых соединений хрома (III) и свинца (II) из водных растворов составляет не менее 98–99 %, а продолжительность процесса – не более 5–8 мин.

Разработаны и запатентованы способы и конструктивные решения, обеспечивающие интенсификацию и повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения соединений тяжелых и цветных металлов из сточных вод.

Усовершенствованы технологические процессы очистки производственных сточных вод от соединений хрома (III) и свинца (II) на основе разработанных способов, технологических и технических решений, позволяющих повысить эффективность электрофлотационного процесса и снизить остаточную концентрацию ионов хрома и свинца в сточных водах.

Разработан и апробирован на ОАО «Завод «Топаз» (Москва) технологический процесс очистки хромсодержащих сточных вод с расходом 3 м³/ч с применением электрофлотации.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Результаты экспериментальных исследований по влиянию физико-химических свойств водной среды (рН и температура, катионы, анионы, ПАВ, флокулянты) и физического воздействия (магнитная обработка) во взаимосвязи с дисперсностью извлекаемых соединений и технологических параметров электрофлотационного процесса;

2. Научно обоснованные подходы к интенсификации и повышению эффективности электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений хрома (III) и свинца (II) из водных растворов.

3. Способы, технологические и конструкционные решения, направленные на интенсификацию и повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений хрома (III) и свинца (II) из водных растворов.

Обоснованность и достоверность полученных результатов. Достоверность научных результатов обеспечена применением апробированных методик экспериментальных исследований с использованием аттестованных методик анализа и поверенных приборов, математической формализацией результатов большого массива опытов с помощью пакета статистического анализа Microsoft Excel, сходимостью результатов экспериментов (относительная погрешность $\pm 10\%$ при доверительной вероятности 0,95).

Личный вклад автора. Автор непосредственно принимал участие на всех этапах проведения диссертационной работы: разработки методологии, постановки и проведения экспериментальных исследований, интерпретировании полученных результатов.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на XXI Международной конференции молодых учёных по химии и химической технологии (Москва, 2007), VIII, IX, X Международных конгрессах молодых учёных по химии и химической технологии (Москва, 2012, 2013, 2014), Всероссийской конференции «Молодые ученые и инновационные химические технологии» (Москва, 2007), II Российской конференции «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности России» (Москва, 2014) и др.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 19 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 10 тезисов докладов на различных конференциях, 1 монография и 3 патента Российской Федерации.

Объём и структура работы. Диссертационная работа изложена на 155 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков, 53 таблиц и состоит из введения, литературного обзора, методической части, двух экспериментальных глав, главы, посвящённой разработке технических и технологических решений, выводов, списка литературы из 115 источников и приложения.

ОСНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность проведения исследования по теме диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследования.

В первой главе представлен обзор научно-технической и патентной отечественной и зарубежной литературы по применению современных методов очистки сточных вод от соединений хрома и свинца, на основании которого выявлены основные направления развития исследований по интенсификации и повышению эффективности электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений хрома (III) и свинца (II) из водных растворов.

Вторая глава посвящена описанию методик исследования. Экспериментальные исследования проводились с использованием модельных растворов и реальных промышленных сточных вод, содержащих, в зависимости от условий эксперимента, соединения хрома (III) и свинца (II), а также катионы металлов (Fe(III), Al(III), Fe(II), Ni(II), Zn(II), Cu(II) и др.), анионы (SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} и др.), флокулянты и ПАВ различных типов с применением электрофлотационных установок непроточного и проточного типа с использованием оксидно-рутениево-титановых анодов и катодов из нержавеющей стали.

Измерение массовой концентрации ионов металлов в водных растворах проводилось по стандартизованным методикам фотометрическим и атомно-абсорбционным методами.

Исследование распределения по размерам частиц дисперсной фазы малорастворимых соединений металлов осуществлялось с помощью лазерного дифракционного прибора «Анализетте 22» Нано Тек.

Определение величины электрокинетического потенциала (ζ -потенциала) основанное на измерении электрофоретической подвижности частиц в жидкости под действием приложенного электрического поля осуществлялось с помощью лазерного анализатора Malvern Zetasizer Nano.

В третьей главе приведены и проанализированы экспериментальные результаты исследований по применению электрофлотации для извлечения малорастворимых соединений хрома (Ш) из водных растворов; определены параметры и режимы, направленные на интенсификацию и повышение эффективности процесса.

Исследовано влияние pH среды на формирование и свойства малорастворимых соединений хрома (Ш). Установлено, что в интервале pH от 5 до 10 (рис. 1) при pH~7,8 происходит перезарядка поверхности частиц с плюса на минус, их средний размер равен 13,5 мкм, а концентрация ионов хрома (Ш) в водном растворе после фильтрации составляет 0,05 мг/л. При этом, максимальная степень извлечения (α) малорастворимых соединений хрома, равная 81–83 %, достигается при pH 7,2–7,5 и ζ -потенциале, равном +(0,2–0,5) мВ при продолжительности процесса ($\tau_{эф}$) 15 мин (рис. 2). Следует отметить, что тоже значение степени извлечения достигается отстаиванием за 20 ч.

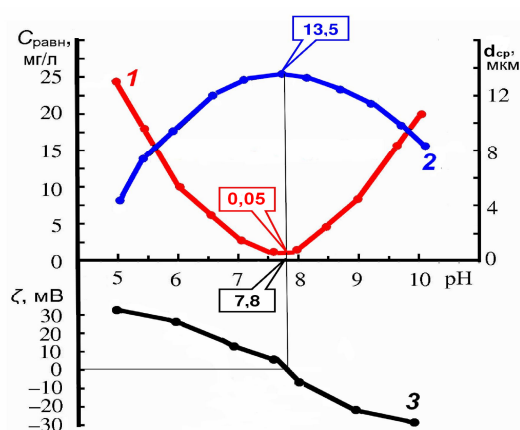


Рис. 1. Влияние pH на изменение концентрации ионов Cr^{3+} (1), среднего размера (2) и ζ -потенциала (3) частиц малорастворимых соединений хрома (Ш)

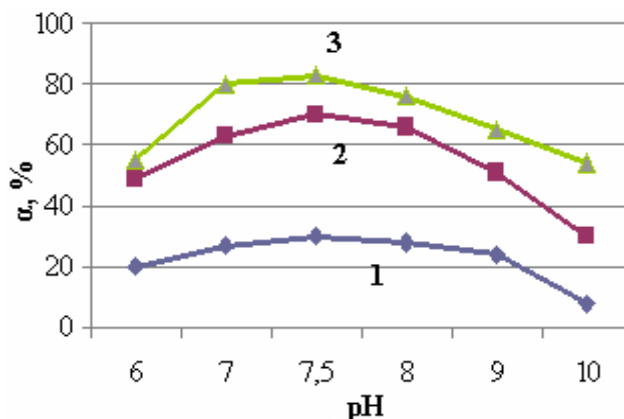


Рис. 2. Зависимость степени извлечения малорастворимых соединений хрома (Ш) α от pH среды при продолжительности электрофлотации:

1 – 5 мин; 2 – 10 мин; 3 – 15 мин.

Исследовано влияние объёмной плотности $i_{об}$ тока на степень извлечения малорастворимых соединений хрома (Ш) в диапазоне от 0,1 до 0,4 А/л. Показано, что максимальная α достигается при $i_{об} = 0,2$ А/л (рис. 3).

Определено влияние ионного состава дисперсной системы на эффективность электрофлотационного процесса. Установлено, что при соотношении исходной концентрации катионов Cr^{3+} к анионам Cl^- , NO_3^- и F^- как 1:(0,2–2) наблюдается повышение α с 83 до 90–92 %. При соотношениях 1:(>2) наблюдается снижение степени извлечения до 10–70 %.

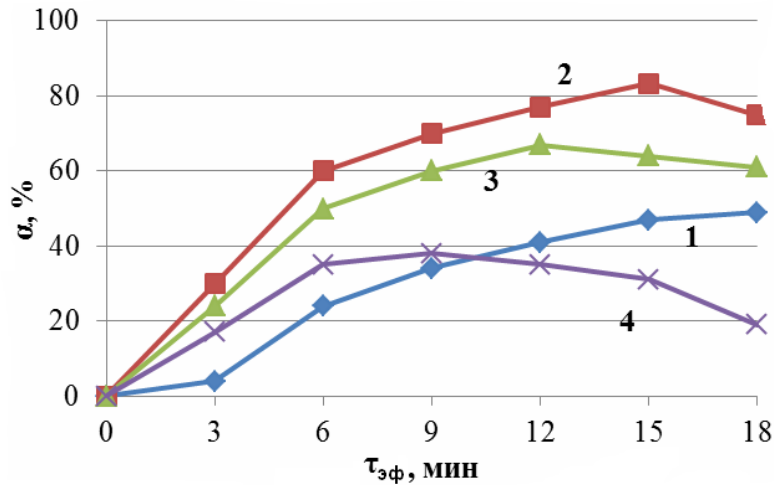


Рис. 3. Кинетические зависимости степени извлечения α малорастворимых соединений хрома (III) в зависимости от объемной плотности тока:
 1 – 0,1 А/л; 2 – 0,2 А/л;
 3 – 0,3 А/л; 4 – 0,4 А/л

В присутствии анионов S^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} и NH_4^+ при их соотношении к исходной концентрации катионов Cr^{3+} как 1:(0,1–1) степень извлечения не изменяется, а при их увеличении – степень извлечения снижается.

Показано, что в присутствии катионов металлов (Fe^{3+} , Al^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} и Zn^{2+} и др.) наиболее эффективно процесс протекает в присутствии катионов Fe^{3+} (рН 7–9) и Al^{3+} (рН 7–8) при соотношении $Cr^{3+}:(Fe^{3+}, Al^{3+})$ как 1:(0,5–2). При этих условиях не только снижается продолжительность процесса ($\tau_{эф} = 10–12$ мин), но и повышается степень извлечения соединений хрома до 90–95 % и уменьшается их остаточная концентрация с 2,5 до 0,15–0,2 мг/л присутствия Fe^{3+} и до 0,05–0,1 мг/л в присутствии Al^{3+} .

В присутствии катионов Ni^{2+} , Cu^{2+} и Zn^{2+} при рН 9,5–10 степень извлечения малорастворимых соединений хрома (III) снижается до 70–80 %.

Исследовано влияние электролитов $NaNO_3$, Na_2SO_4 и $NaCl$ при концентрации 100 г/л на эффективность электрофлотационного процесса. Установлено, что в присутствии электролитов степень извлечения малорастворимых соединений хрома повышается с 82 до 92–97 %, а время электрофлотации сокращается с 15 до 8 мин.

Впервые исследован процесс электрофлотационного извлечения малорастворимых соединений хрома (III) из водных растворов в интервале температур от 40 до 90 °С. Показано, что с повышением температуры до 45–90 °С α возрастает до 98–99 % за 10 мин, а остаточная концентрация соединений хрома снижается с 2,5 мг/л ($t=20$ °С) до 0,9 мг/л ($t=45$ °С) и до 0,06 мг/л при $t=90$ °С.

В ходе проведенных впервые исследований установлены особенности влияния магнитной обработки (МО) воды на процесс извлечения малорастворимых соединений хрома (III), которая заключается в пропускании потока воды, содержащих дисперс-

ную фазу хрома через постоянное магнитное поле при напряженности магнитного поля 75–85 кА/м и скорости потока воды 1–3 м/с. Определены оптимальные условия применения МО, позволяющие дополнительно повысить степень извлечения малорастворимых соединений хрома на 2–5 % и снизить $\tau_{эф}$ с 15 до 12–10 мин.

Исследовано влияние природы и концентрации ионогенных ПАВ на электрофлотационное извлечение малорастворимых соединений хрома (III). Наиболее эффективно ($\alpha = 99\%$) извлекаются положительно заряженные частицы соединений хрома в присутствии анионного ПАВ додецилсульфата натрия при соотношении концентрации ионов хрома и анионного ПАВ, равное 1:(2–2,5) при $i_{об} = 0,4$ А/л и $\tau_{эф} = 5$ мин.

Катионные ПАВ незначительно интенсифицируют процесс, а анионные ПАВ снижают степень извлечения.

Впервые исследован процесс извлечения малорастворимых соединений хрома (III) в проточном режиме с применением двухкамерного электрофлотационного аппарата. Показано, что степень извлечения в зависимости от состава среды не превышает 80 % при кратности обмена очищаемой воды 3–4 ч⁻¹, что соответствует времени ее пребывания в аппарате 20–15 мин.

Дальнейшие исследования были направлены на установление путей и определение оптимальных параметров интенсификации и повышения процесса извлечения малорастворимых соединений хрома (III) из водных растворов.

Так, уравнение (1) позволяет рассчитать время очистки воды, а уравнение (2) определить продолжительность электрофлотационного процесса

$$\tau_{эф} = \frac{V_{\kappa}}{Q_{\text{в}}} \quad (1); \quad \tau_{эф} = \frac{H_{\kappa}}{v_{фк}} \quad (2),$$

где V_{κ} – объём флотокамеры, м³; $Q_{\text{в}}$ – расход очищаемой воды, м³/с; H_{κ} – высота флотокамеры, м; $v_{фк}$ – средняя скорость всплывания флотокомплексов, м/с.

$$v_{фк} = \frac{g(\rho_{\text{в}} - \rho_{фк})\bar{d}_{фк}^2}{18\eta}, \quad (3)$$

где η – динамическая вязкость воды, кг/м·с; g – скорость свободного падения, м/с²; $\rho_{фк}$ – плотность флотокомплексов, кг/м³; $\bar{d}_{фк}$ – средний диаметр флотокомплексов, м; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды; кг/м³.

Подставляя (3) в уравнение (2) получим

$$\tau_{эф} = \frac{18\eta H_k}{g(\rho_B - \rho_{фк})\bar{d}_{фк}^2} \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что с увеличением среднего размера частиц, при прочих равных условиях, продолжительность электрофлотации снижается.

Одним из приемов, направленных на повышение эффективности извлечения частиц дисперсной фазы малорастворимых соединений цветных и тяжелых металлов, является использование органических флокулянтов, действие которых основано на изменение поверхностных и дисперсных свойств поверхности извлекаемых частиц и кинетики электрофлотационного процесса.

В этом направлении было исследовано влияние более 20 флокулянтов серии Superfloc, Ferrocryl, Praestol, Zetag, и флокулянтов ПАА-ГС, ЛТ-30, М-10 различных ионогенных типов на дисперсные характеристики малорастворимых соединений хрома (Ш) и кинетику электрофлотационного процесса. Установлено, что наиболее эффективным является анионный флокулянт М-10, в присутствии которого средний размер частиц малорастворимых соединений хрома увеличивается с 13,5 до 91,5 мкм, продолжительность процесса снижается с 15 до 10 мин, степень извлечения повышается с 80–83 до 98–99 %, а остаточная концентрация снижается до 0,04–0,06 мг/л.

Показано, что одним из важных средств интенсификации и управления эффективностью электрофлотационного процесса извлечения частиц дисперсной фазы малорастворимых соединений цветных и тяжелых металлов является регулирование токовой нагрузки.

Проведены исследования по электрофлотационному извлечению малорастворимых соединений хрома (Ш) из водных растворов в присутствии флокулянта М-10, которые показали, что при значении объемной плотности тока в диапазоне от 0,1 до 0,6 А/л и исходных концентрациях ионов хрома (Ш) 50, 100 и 150 мг/л зависимость $\alpha = f(i_{об})$ проходит через максимум ($\alpha = 97–99$ %, рис. 4), соответствующий оптимальному значению объемной плотности тока, которое для дисперсной системы с исходной концентрацией ионов хрома (Ш) 50–100 мг/л составляет 0,2 А/л, а с концентрацией ионов хрома (Ш) 150 мг/л – 0,4 А/л.

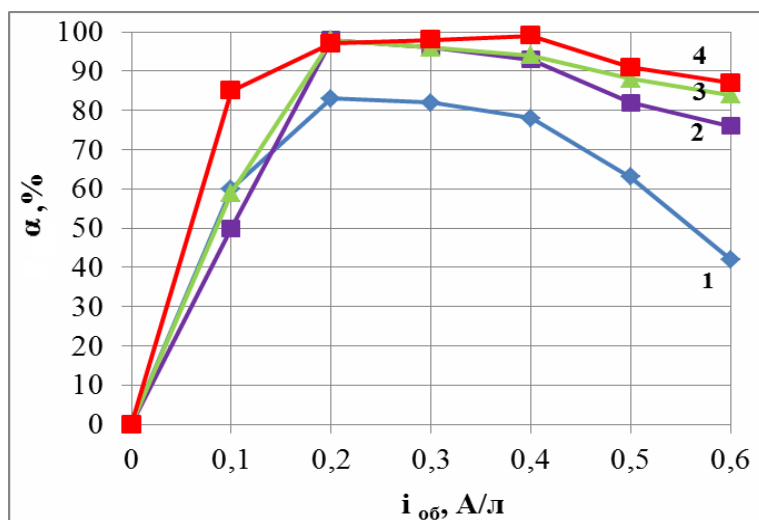


Рис. 4. Зависимость степени извлечения малорастворимых соединений хрома (III) α от объёмной плотности тока $i_{об}$ при различных исходных концентрациях хрома:
 1 – 50 мг/л;
 2 – 50 мг/л + М 10;
 3 – 100 мг/л + М 10;
 4 – 150 мг/л + М 10

Исследовано влияние катионов металлов (Co^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+}) на электрофлотационное извлечение малорастворимых соединений хрома (III) из 2-х и 3-х компонентных систем в стационарном режиме.

Показано, что применение флокулянта М-10 позволяет достичь высоких степеней извлечения малорастворимых соединений металлов на уровне 98,3–99,9 % (рис. 5).

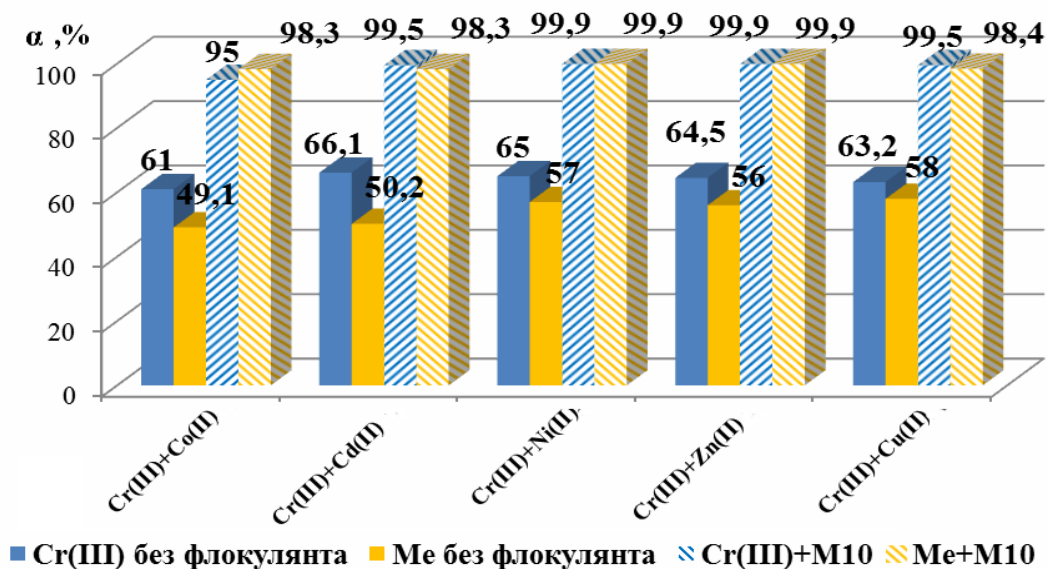


Рис. 5. Электрофлотационное извлечение малорастворимых соединений хрома из 2-х компонентных систем при pH 9,0–9,5

Установлено, что при проведении электрофлотации в проточном режиме в двухкамерном аппарате в присутствии флокулянта достижение максимальной степени извлечения малорастворимых соединений металлов обеспечивается за счет регулирования силы тока во флотокамерах (рис. 6).

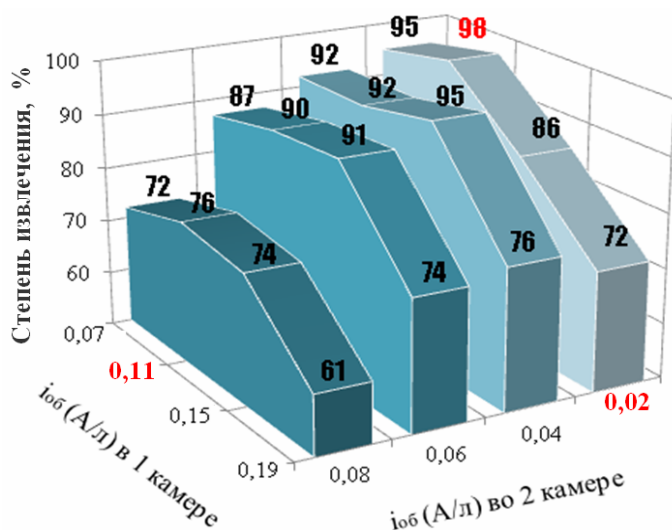


Рис. 6. Зависимость степени извлечения малорастворимых соединений металлов от величины объёмной плотности тока ($i_{об}$) в флотокамерах в присутствии флокулянта М-10 при кратности обмена раствора 6 ч^{-1}

Наиболее эффективно ($\alpha = 98 \%$) процесс извлечения малорастворимых соединений металлов протекает в присутствии флокулянта М-10 при объёмной плотности тока в первой флотокамере, равной $0,11 \text{ А/л}$, а во второй флотокамере – $0,02 \text{ А/л}$ при исходной концентрации ионов металлов не превышающих 100 мг/л .

На основе результатов исследований разработаны новые способы электрофлотационной очистки (рис. 7, 8), позволяющие обеспечить предельно допустимую концентрацию ионов хрома (III) в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_{к.б.}) и рыбохозяйственного значения (ПДК_{р.х.}).

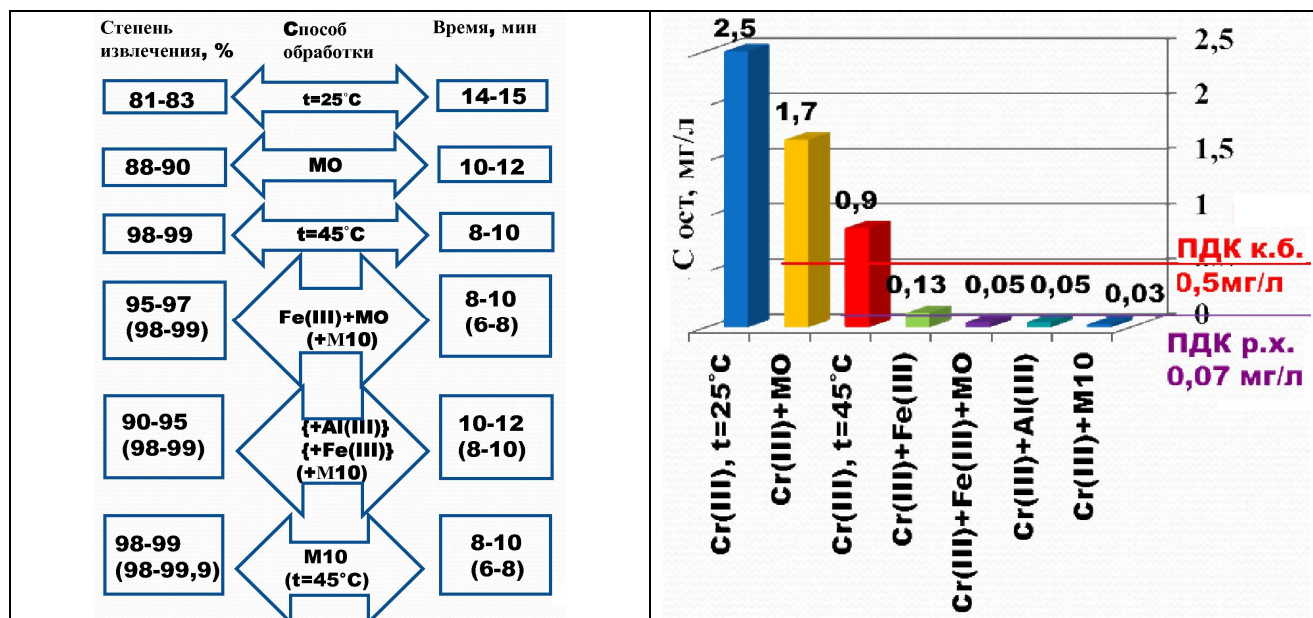


Рис. 7. Способы электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений хрома из водных сред

Рис. 8. Влияние способа электрофлотационного процесса на остаточную концентрацию соединений хрома (III)

В четвертой главе приведены и проанализированы результаты исследований по применению электрофлотации для извлечения малорастворимых соединений свинца (II) из водных растворов, определены условия, направленные на интенсификацию и повышение эффективности процесса.

Показано, что водный раствор, содержащий малорастворимые соединения свинца (II) при pH 10–10,2, представляет собой устойчивую коллоидно-дисперсную систему с размером частиц от 0,05 до 5 мкм, при этом степень извлечения не превышает 2–5 % за 30–40 минут электрофлотации.

С целью интенсификации процесса и повышения степени извлечения исследовано влияние более 20 флокулянтов серии Superfloc, Ferrocryl, Praestol, Zetag, и флокулянтов марок ПАА-ГС, LT-30, М-10 на дисперсные характеристики малорастворимых соединений свинца (II), определены условия проведения и показатели электрофлотационного процесса. Установлено, что наиболее эффективным является анионный флокулянт LT-30, в присутствии которого средний размер частиц малорастворимых соединений свинца увеличивается с 2,2 до 28,5 мкм, продолжительность процесса снижается до 10 мин при $i_{об} = 0,2$ А/л, степень извлечения увеличивается с 2–5 до 86–88 %, а остаточная концентрация уменьшается до 6–7 мг/л. Следует отметить, что тоже значение степени извлечения достигается отстаиванием за 120 ч.

Установлена зависимость концентрации флокулянта LT-30 добавляемого в систему Pb^{2+} -H₂O при pH 10–10,2 от исходной концентрации малорастворимых соединений свинца, при которой достигается максимальная степень извлечения не менее 88 % при $\tau_{эф} = 10$ мин.

В ходе проведения экспериментальных исследований определено оптимальное соотношение исходной концентрации малорастворимых соединений свинца к введённому флокулянту LT-30, составляющее 1:(0,8–0,11), при котором степень извлечения малорастворимых соединений свинца составляет не менее 88 %.

Показано, что одним из приёмов повышения эффективности электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений свинца является введение в дисперсную систему наряду с флокулянтом LT-30 катионов металлов (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} и др.). На основе проведенных в этом направлении исследований и полученных результатов разработан и запатентован способ (патент РФ № 2426695), позволяющий интенсифицировать процесс извлечения малорастворимых соединений свинца ($\tau_{эф} = 10$ мин) и увеличить степень извлечения малорастворимых соединений свинца с 2–5 до 99,6 % (рис. 9).

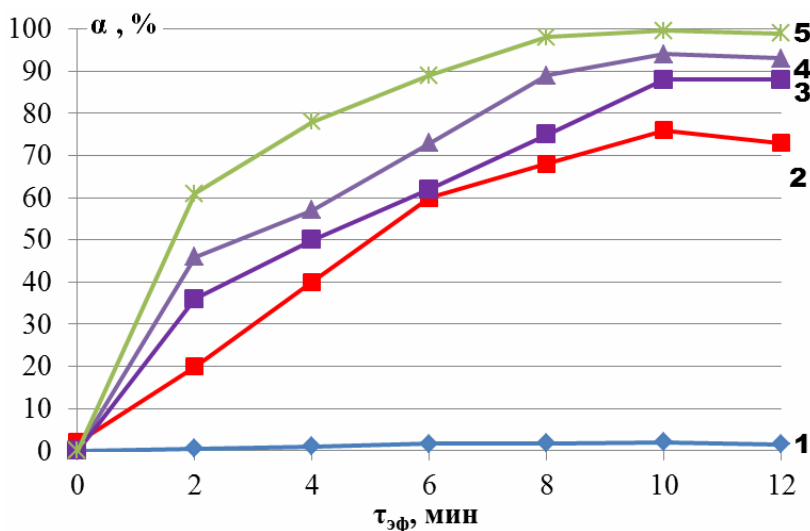


Рис. 9. Кинетические зависимости степени электрофлотационного извлечения малорастворимых соединений свинца (II) в зависимости от состава дисперсной системы:

1 – Pb²⁺; 2 – Pb²⁺ + Al³⁺;

3 – Pb²⁺ + Fe³⁺;

4 – Pb²⁺ + LT-30;

5 – Pb²⁺ + LT-30 + Fe²⁺ + Fe³⁺

В зависимости от требований, предъявляемых к содержанию соединений свинца в очищенной воде, на основе результатов исследований для практических целей разработаны способы очистки, отличающиеся условиями проведения электрофлотационного процесса и достигаемыми показателями, такими как степень извлечения малорастворимых соединений свинца (II), продолжительность электрофлотационного процесса (рис. 10) и остаточная концентрация ионов свинца в сточных водах (рис. 11).

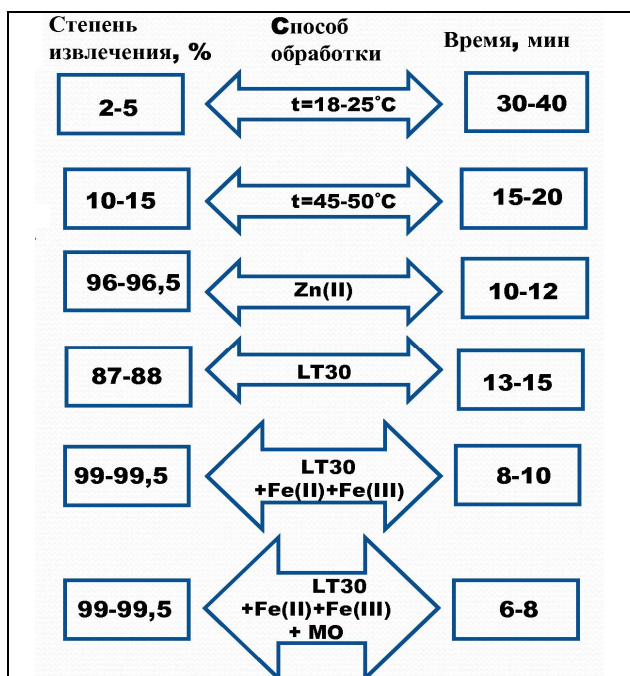


Рис. 10. Способы электрофлотационного процесса извлечения малорастворимых соединений свинца из водных сред

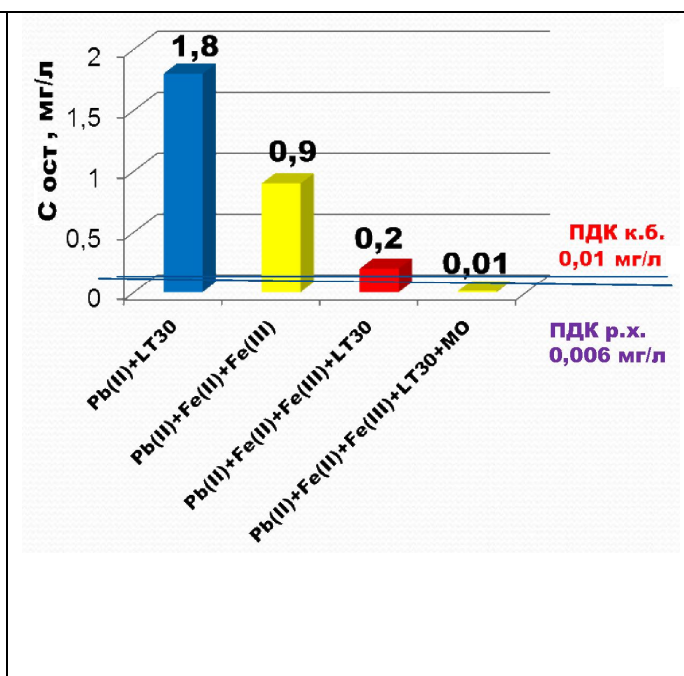


Рис. 11. Влияние способа электрофлотационного процесса на остаточную концентрацию соединений свинца

Так, извлечение малорастворимых соединений свинца в присутствии смеси ионов железа и флокулянта в сочетании с магнитной обработкой при оптимальных условиях проведения процесса позволяет обеспечить предельно допустимую концентрацию ионов свинца в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования ПДК_{кб} на уровне 0,01 мг/л. Для достижения предельно допустимой концентрации в воде водных объектов рыбохозяйственного значения ПДК_{р.х} (0,006 мг/л) необходима доочистка воды, например, на сорбционном фильтре.

Пятая глава посвящена разработке технических и технологических решений по извлечению из производственных сточных вод малорастворимых соединений хрома (Ш) и свинца (П).

На основании экспериментальных исследований предложена и запатентована конструкция электрофлотационного устройства (рис. 12) в виде равнобокой трапеции с наклонёнными боковыми сторонами под углом 70–75 градусов к горизонтальной плоскости, в которой по мере всплытия газовых пузырьков и уменьшения поперечного сечения объемная концентрация газовой фазы возрастает (без дополнительного увеличения энергозатрат), что повышает вероятность столкновения извлекаемых частиц дисперсной фазы с газовыми пузырьками и образование флотокомплексов, и, как следствие, приводит к повышению эффективности электрофлотационного процесса.

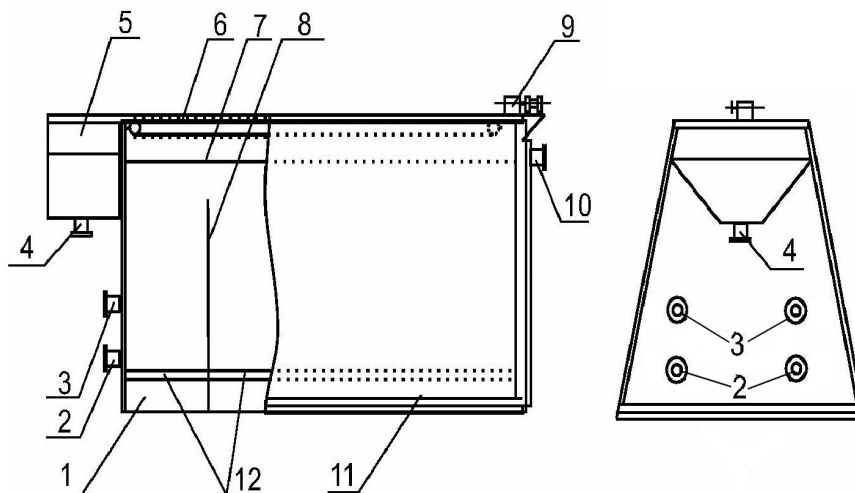


Рис. 12. Конструкция электрофлотационного устройства для извлечения частиц дисперсной фазы малорастворимых соединений тяжелых и цветных металлов (патент № 137027 U1):

- 1, 11 – флотокамеры; 2 – патрубок для ввода сточной воды; 3 – патрубок для ввода раствора флокулянта; 4 – патрубок для вывода флотошлама; 5 – сборник флотошлама; 6 – пеносборное устройство; 7, 8 – перегородки; 9 – мотор-редуктор, 10 – патрубок для вывода очищенной воды; 12 – электроды

Усовершенствованы технологические процессы очистки производственных сточных вод от соединений хрома (III) и свинца (II), в основе которых лежат решения, обеспечивающие интенсификацию и повышение эффективности электрофлотационного процесса. Так, при очистке сточных вод процесс проводится в присутствии флокулянта две ступени: на первой ступени производится извлечение малорастворимых соединений хрома (III), а на второй – свинца (II) (рис. 13).

На первой ступени при pH 7–7,5 наряду с малорастворимыми соединениями хрома (III) извлекаются соединения железа и алюминия, а на второй при pH 10–10,2 – соединения свинца, никеля, цинка и меди. Остаточная концентрация катионов металлов в очищенной воде соответствует значениям ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

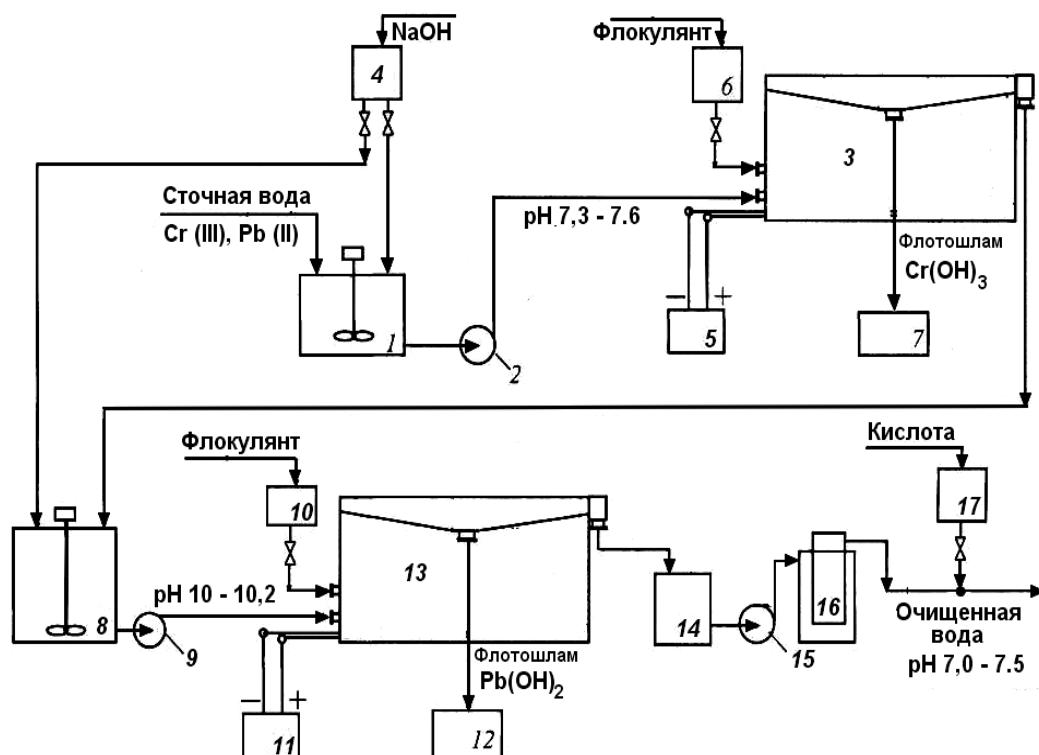


Рис. 13. Принципиальная технологическая схема очистки сточных вод от соединений хрома (III) и свинца (II):

- 1, 8 – реакторы; 2, 9, 15 – насосы; 3 – электрофлотатор 1-й ступени; 4 – дозатор щелочи; 5, 11 – выпрямители; 6, 10 – дозаторы флокулянта; 7, 12 – сборники флотошлама; 13 – электрофлотатор 2-й ступени; 14 – буферная емкость; 16 – механический фильтр; 17 – дозатор кислоты

Технологический процесс электрофлотационной очистки хромосодержащих сточных вод с расходом $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ апробирован на предприятии «Завод «Гопаз» (Москва).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основании экспериментальных исследований установлены основные факторы и направления интенсификации и повышения эффективности электрофлотационного процесса извлечения частиц малорастворимых соединений хрома (Ш) и свинца (П) из водных растворов, определена степень их влияния. Показано влияние рН и состава среды во взаимосвязи с дисперсностью извлекаемых соединений и технологическими параметрами электрофлотационного процесса.

2. Установлено, что применение анионных флокулянтов (М-10 и ЛТ-30), повышение температуры среды и воздействие постоянного магнитного поля способствует увеличению среднего размера частиц дисперсной фазы малорастворимых соединений хрома (Ш) и свинца с 2–13,5 до 30–90 мкм и скорости всплывания флотокомплексов в 2–3 раза.

3. Определены оптимальные условия электрофлотационного процесса извлечения частиц малорастворимых соединений хрома (Ш) из водных растворов, при которых степень извлечения частиц повышается с 80–83 до 98–99 %, остаточная концентрация снижается с 2–2,5 до 0,2–0,05 мг/л, продолжительность процесса сокращается с 15–20 до 8–10 мин, производительность процесса увеличивается 2–3 раза.

4. Определены оптимальные условия электрофлотационного процесса извлечения частиц малорастворимых соединений свинца из водных растворов, при которых степень извлечения частиц повышается с 2–5 до 98–99 %, остаточная концентрация снижается с 2–2,5 до 0,2–0,5 мг/л, продолжительность процесса сокращается с 30–40 до 8–10 мин, производительность процесса увеличивается в 5–6 раз.

5. Разработаны новые технологические и конструкторские решения, направленные на интенсификацию и повышение эффективности электрофлотационного процесса извлечения соединений тяжелых и цветных металлов из сточных вод, научная новизна которых подтверждена 3 патентами Российской Федерации.

6. Усовершенствованы технологии электрофлотационной очистки сточных вод от соединений хрома (Ш) и свинца, предусматривающие использование анионных флокулянтов, позволяющие повысить эффективность очистки в 1,2–3 раза.

7. Разработан и апробирован на ОАО «Завод «Топаз» (Москва) технологический процесс очистки хромсодержащих сточных вод с расходом 3 м³/ч.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

Статьи в журналах перечня ВАК

1. Колесников В.А., Ильин В.И., Вараксин С.О., **Перфильева А.В.** Разработка высокоэффективной ресурсосберегающей электрофлотомембранной технологии организации водооборота на участках нанесения гальванопокрытий предприятий электронной, машиностроительной и авиационной промышленности // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2008. – № 1. – С. 54–56.
2. **Перфильева А.В.**, Ильин В.И., Колесников В.А. Повышение эффективности очистки промышленных сточных вод от свинца с применением электрофлотации // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2009, № 2. С. 59–60.
3. **Перфильева А.В.**, Колесников В.А., Ильин В.И. Повышение эффективности очистки сточных вод от соединений свинца с применением электрофлотации // Химическая промышленность сегодня. – 2009, № 11. С. 45–47.
4. Ильин В.И., **Перфильева А.В.**, Колесников В.А. Воздействие магнитного поля на электрофлотационное извлечение из сточных вод малорастворимых соединений тяжелых и цветных металлов // Российский химический журнал. – 2013, Т. LVII, № 1. С. 30–35.

Тезисы докладов

1. **Перфильева А.В.**, Колесников В.А., Ильин В.И. Интенсификация процессов очистки жидких техногенных отходов промышленных производств с использованием электрохимических методов // Молодые ученые и инновационные химические технологии: Тез. докл. Всерос. конф., Москва, 24 мая 2007 г. – М., 2007. – С. 38–39.
2. **Перфильева А.В.**, Ильин В.И. Повышение эффективности электрофлотационной очистки гальванических сточных вод от токсичных соединений хрома и свинца // «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности России»: Тез. докл. II Российской конференции. – М., 2014. – С. 81.

Патенты РФ

1. Патент № 2426695. Способ очистки сточных вод от ионов свинца / В.И. Ильин, В.А. Колесников, **А.В. Перфильева**; заявл. 02.07.2009; опубл. 20.08.2011. Бюл. № 23.
2. Патент № 2445273. Способ очистки сточных вод от ионов цветных металлов / В.И. Ильин, В.А. Колесников, **А.В. Перфильева**; заявл. 08.07.2010; опубл. 20.03.2012. Бюл. № 8.
3. Патент на полезную модель № 137027 U1. Электрофлотационное устройство / В.И. Ильин, **А.В. Перфильева**, М.С. Гречина; заявл. 21.05.2013; опубл. 27.01.2014. Бюл. № 3.

Заказ №

Объем 1.0 п.л.

Тираж 100 экз.

Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева