

# МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ОСАЖДЕНИЯ ИЗ СТОКОВ ДИСПЕРСНЫХ ПРИМЕСЕЙ МЕДИ (II)

**Представлен обзор литературных источников по проблемам интенсификации осаждения из сточных вод дисперсной фазы меди. Описаны широко применяемые методы разрушения устойчивых дисперсных систем традиционными реагентами и новыми соединениями. Отмечены достоинства и недостатки методов и перспективные направления их развития. Установлены закономерности агрегирования и седиментации частиц меди. Указаны причины необходимости индивидуального подхода в организации реагентного процесса.**

## Введение

Россия, по сравнению с другими странами, особенно с Европой, обладает огромными водными ресурсами, поэтому проблеме их сбережения долго не уделялось должного внимания. Требования природоохранных органов заключались только в регламентировании сбросов, целевое финансирование и стимулирование прогрессивных подходов в организации водоотведения не было предусмотрено [1, 2]. При этом доход, получаемый государством от использования водных ресурсов, в 20 раз ниже, чем в развитых странах [3].

В условиях, когда предприятие должно рассчитывать только на себя и свои финансовые возможности, предпочтение, как правило, отдается наиболее дешевым и не всегда достаточно эффективным методам обезвреживания, среди которых первое место занимают реагентные методы. Сейчас ситуация начинает меняться, проводится природоохранная политика по переводу водоемких производств на водосберегающие технологии [4, 5], при этом реагентные технологии очистки не заменяют, а модернизируют и продолжают применять в современных схемах очистки как первую ступень.

Процесс реагентной очистки состоит из двух стадий: перевода растворимых форм меди (II) в нерастворимые и последующего их

осаждения. Качество очистки является суммарным показателем эффективности каждой стадии. Поэтому исследования идут в двух направлениях: по увеличению глубины протекания осадительной реакции и по интенсификации процессов агрегирования и седиментации частиц дисперсной фазы образующихся коллоидных систем. Анализ литературных данных, касающихся способов химического осаждения меди (II), представлен в работе [6]. В данном обзоре отмечены закономерности извлечения из стоков мелкодисперсных соединений меди (II) наиболее широко применяемыми методами, рассмотрены научные разработки последних лет по усовершенствованию существующих очистных технологий, обозначены приоритетные направления исследований этого вопроса.

## Результаты и их обсуждение

*Методы, интенсифицирующие седиментацию* Устойчивые дисперсные системы меди (II) разрушают физико-химическими методами [7]:

- 1) коагуляцией,
- 2) флокуляцией,
- 3) электрофлотацией,
- 4) электрокоагуляцией.

### *Коагуляция*

Коагуляция – это процесс укрупнения частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты [8, 9]. Потеря агрегативной устойчивости системы имеет место вблизи изоэлектрической точки, когда над электростатическим барьером отталкивания преобладают межмолекулярные силы притяжения Ван-дер-Ваальса. Чтобы вызвать коагуляцию, необходимо снизить величину  $\xi$ -потенциала до критического значения, близкого к нулю. Поэтому в качестве коагу-

**Е.В. Иканина\***,  
аспирант кафедры  
физической  
и коллоидной химии  
химико-  
технологического  
факультета, ФГАОУ  
ВПО Уральский  
федеральный  
университет  
имени первого  
Президента России  
Б.Н. Ельцина

**В.Ф. Марков**,  
доктор химических  
наук, профессор,  
заведующий  
кафедрой физической  
и коллоидной химии  
химико-  
технологического  
факультета, ФГАОУ  
ВПО Уральский  
федеральный  
университет имени  
первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

\* Адрес для корреспонденции: lkael@yandex.ru

лянтов используют поливалентные ионы с зарядом, противоположным знаку заряда частицы, чаще всего это соли алюминия и железа. Например, отрицательно заряженные частицы  $\text{CuS}$  коагулируют катионами этих металлов, частицы  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , имеющие положительный заряд –  $\text{SO}_4^{2-}$ -ионами.

Установлено [10], что оптимальный интервал рН среды, обеспечивающий максимальный перевод соединений меди в фазу гидроксида с поверхностным зарядом, близким к изоэлектрической точке, составляет 8,0-9,5. При дальнейшем понижении концентрации ионов водорода в растворе происходит перезарядка частиц, начинают преобладать отрицательно заряженные гидроксиокомплексы меди (II).

Эффективность использования коагулянтов зависит от многих факторов, лимитирующим из которых является их химический состав. Исследования показали [11], что наиболее распространенные алюмо- и железосодержащие реагенты можно расположить в ряд по возрастанию скорости и степени очистки воды от неорганических примесей:  $\text{Fe}(\text{OH})_2 < \text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} < \text{FeCl}_3 < \text{AlCl}_3 \approx \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 < \text{FeSO}_4$ .

Свойства  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ , занявшего в ряду только четвертую позицию, определяются условиями синтеза, которыми можно управлять и повышать эффективность коагуляции. В работах [12-14] табулированы и графически представлены зависимости температуры замерзания, плотности, вязкости и величины рН растворов гидрохлоридов алюминия от их основности и степени полимеризации. Феррон-методом обнаружено, что в растворах  $\text{Al}(\text{OH})\text{Cl}_2$  гидроксиокомплексы металла на 95,7 % представлены мономерами, в  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$  – на 50 %, в  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$  – менее чем на 30 %. Во всех растворах с ростом рН доля полимеров возрастает. Так как реакция алюминия с соляной кислотой проходит в несколько стадий,

**Л.Н. Маскаева,**  
доктор химических наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии химико-технологического факультета, ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

подбирая соотношение  $\text{Al}:\text{Cl}$ , можно получать соли необходимого состава. В качестве сырья пригодны шлаки литейного производства и алюминиевая стружка.

Согласно представлениям о токсичности, включающим отдаленные последствия [15, 16], существенным недостатком коагуляционной обработки является остаточное содержание в воде железа и алюминия [17]. Кроме того, алюминиевые коагулянты имеют узкий рабочий диапазон рН, например, сульфат алюминия – 5,0-7,5, алюминат натрия – 9,3-9,8, и неэффективны при температуре воды ниже 11 °С. Область действия солей железа, как коагулянтов, значительно шире, но они проявляют сильные кислотные свойства, усиливающие коррозию аппаратуры. Перспективным направлением в решении обозначенных проблем является синтез смешанных коагулянтов.

Алюможелезный коагулянт, получаемый при совместной варке плава сульфата алюминия и соли железа (III) с последующей кристаллизацией [18], имеет улучшенный состав  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{FeCl}_3 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ , где  $x=0,25-0,35$ ,  $y=20-30$ . В частности, массовая доля алюминия при пересчете на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  равна 13,2%. Это почти в 2,3 раза меньше, чем у коагулянта торговой марки «Аква-аурат™ 30». Качественные показатели воды, очищенной алюможелезным коагулянтом, сульфатом алюминия и «Аква-аурат™ 30», примерно одинаковы, извлечение меди достигает более 90 %. Исключение составляет величина рН, которую снижает сульфат алюминия, увеличивая коррозионную активность воды.

Одновременное применение солей обоих металлов повышает эффективность очистки, но делает ее более дорогостоящей, в связи с этим ведутся работы по получению коагулянтов из отходов производства.

Электрохимический способ синтеза железо-алюминиевого коагулянта из шламов и растворов травления [19, 20] позволяет утилизировать постоянно накапливающиеся железосодержащие отходы и получать образцы, не уступающие по физико-химическим характеристикам коагулянту «Аква-аурат™ 10». Синтезированный продукт – полигетероядерное соединение двух- и трехвалентного железа и алюминия, содержание последнего составляет 1,2 %, тогда как в «Аква-аурат™ 10» – 5,3 %, что минимизирует пропуск алюминия в очищенную воду при равной степени очистки от взвешенных частиц.

#### Флокуляция

Флокулянты представляют собой высокомолекулярные соединения, интенсифицирую-



щие агрегацию и осаждение взвешенных частиц за счет адсорбции на их поверхности и образования между ними полимерных мостиков [8, 9]. Применяют флокулянты, как правило, в дополнение к коагулянтам, что снижает расход последних, расширяет оптимальную область коагуляции по pH и температуре, повышает плотность и прочность образующихся агрегатов. Флокулянты классифицируют по природе (органические и неорганические), происхождению (природные и синтетические) и свойствам (анионные, катионные и неионогенные).

Среди синтетических флокулянтов наибольшее распространение в нашей стране получил полиакриламид (ПАА)  $[-CH_2-CH-CO-NH_2]_n$ . В обзорах [21, 22] приводятся основные закономерности очистки природных и сточных вод ПАА и его производными в присутствии и без коагулянтов. Отмечено, что не существует четкого алгоритма оптимизации процесса, так как он зависит от множества факторов. К ним относятся характеристики флокулянта и коагулянта (химический состав, концентрация, конформация макромолекул флокулянта), технологические параметры (способ и момент дозирования, эффективность перемешивания, продолжительность смешения и др.), а также качество исходной воды (химический и дисперсионный состав, pH и температура).

Для интенсификации флокулообразования авторы [23] предлагают после обработки стоков известковым молоком до pH 7,0-8,5 использовать смесь анионного и катионного ПАА с молекулярной массой не менее 107 в объемном соотношении (3-2):1. Присутствие осадка, полученного в предыдущем цикле очистки, в объемном соотношении к воде (0,5-1):10 экономит флокулянт. Осадок в больших количествах не влияет на агрегацию частиц, но приводит к дополнительным энергетическим затратам.

Хитин, содержащийся в наружном скелете зоопланктона и клеточных стенках низших грибов, используют для получения хитозана – полисахарида с широкой областью применения, включая водоочистку.

При карбоксиэтировании хитозана до степеней замещения 0,7-1,6 образуются его растворимые производные, ведение процесса в геле [24] занимает меньше времени и сокращает расходы реагентов и тепловой энергии. N-2-карбоксиэтилхитозаны, синтезированные в геле путем обработки хитозана акриловой кислотой [25], находятся в растворе в виде нейтральных молекул при pH 3,55-6,30. В щелочной среде (pH > 7,5) соединения, переходя в анионную форму, снижают положительный заряд частиц гидроксидов метал-



лов и адсорбируются на частицах с  $\zeta$ -потенциалом от +10 до -15 мВ. Такой механизм флокуляции подтверждается зависимостью эффективности очистки от устойчивости гидроксокомплексов металлов:  $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$ . Оценка влияния состава N-2-карбоксиэтилхитозанов на процесс показала, что оптимальная степень замещения составляет 0,7-1,0.

Продуктом реакции хитозана с тиоуксусной кислотой является тиоацетилхитозан. Это высокомолекулярное соединение, имеющее в своем составе amino- и тиольную группу [26], что позволяет ему одновременно выступать в растворе осадителем и флокулянт. Ионы меди окисляют серу тиольной группы, в результате образуется нерастворимый полимер. С увеличением pH раствора возрастает степень диссоциации тиольных групп и, соответственно, глубина осадительной реакции. Медь связывает аминокислотные группы в комплекс, причем в координационной сфере одного иона меди могут находиться аминокислотные группы разных молекул тиоацетилхитозана, что приводит к их укрупнению. Дисперсные частицы, как медьсодержащие, так и другой природы, содержащиеся в стоках, адсорбируются на своей поверхности растворимые формы меди и инициируют процессы агрегирования, повышая степень очистки. Подобное взаимодействие тяжелых металлов, в том числе меди, с гумусовыми веществами, отмечено в [27]. Авторы рассматривают ионы металлов как коагуляторы, снижающие заряд гумусовых частиц до нуля, что приводит к соосаждению.

Возможность сочетания нужных свойств нескольких классов соединений в одном полимере путем привития к его скелету разных функциональных групп активно изучается. Дитиокарбонат полиэтиленimina был получен при действии сероуглерода на исходный полимер в присутствии гидроксида натрия в молярном соотношении 2:1:3 [28]. Синтезированное соединение вступает в реакции с медью аналогично тиоацети-

тозану. Подбор оптимальной дозы и учет  $\zeta$ -потенциала его частиц, знак которого меняется с плюса на минус при переходе через изоэлектрическую точку, зафиксированную в растворах с рН 3, позволяет извлечь металл на 95 %.

### Электрофлотация

Электрофлотация – метод извлечения взвешенных частиц из стоков пузырьками газа, образующегося при электролизе воды (на аноде – кислорода, на катоде – водорода). Слипание пузырьков с частицами загрязнений обусловлено уменьшением поверхностной энергии на границе раздела фаз «жидкость-газ». Образующиеся агрегаты имеют плотность, меньшую, чем у воды, поэтому всплывают на поверхность. Степень очистки достигает максимума при оптимальном для данной дисперсной системы газонасыщении, которое задается величиной тока на электродах. Большая токовая нагрузка приводит к турбулизации раствора и разрушению пенного слоя, малая – не обеспечивает необходимого газонасыщения. Растворимые электроды повышают эффективность флотации. В момент отрыва от электрода пузырек водорода заряжен отрицательно, а кислорода – положительно. Если пузырьки и частицы загрязнений имеют разные по знаку заряды, формирование флотокомплексов протекает более эффективно [29]. Но вероятность существования заряженных пузырьков зависит от рН среды. Скорее всего, в кислых растворах вследствие нейтрализации будет не заряжен пузырек водорода, а в щелочных – кислорода.

Экспериментальным подтверждением этого является низкая флотоактивность фосфата, карбоната и сульфида меди, имеющих, в отличие от гидроксида, отрицательный  $\zeta$ -потенциал при рН больше 7 [30, 31]. Высокую степень извлечения меди в виде гидроксида (96 %) авторы объясняют и рядом других факторов. Определено, что наиболее вероятный радиус частиц увеличивается в ряду  $\text{CuS} \rightarrow \text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2$ , следовательно, падает агрегативная устойчивость систем. Минимальный радиус  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  составляет 2-4 мкм, максимальный – 20-100 мкм, тогда как для  $\text{CuS}$  эти величины равны 0,3-0,4 и 8-12 мкм, соответственно. Оптимальный диапазон плотности тока для  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  0,2-0,25 А/л, для других труднорастворимых соединений меди он более узкий. Последовательный перевод металла сначала в гидроксид при рН 9-10, затем в менее растворимый гидроксифосфат повышает степень очистки до 99,9 %, массовое соотношение иона меди к ортофосфат-иону,

### Ключевые слова:

седиментация,  
коагуляция,  
флокуляция,  
медь (III),  
очистка стоков

вводимому в виде  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ , должно составлять 1:(0,5-1,0).

Флотоактивность дисперсной фазы определяется не только ее природой, но и составом дисперсионной среды, а стоки, как правило, являются многокомпонентными. Установлено [32], что флокулянты, особенно неионогенного типа, интенсифицируют электрофлотацию и расширяют область оптимальных значений плотностей тока. Наибольший эффект получен при соотношении флокулянта к дисперсной фазе меди 1:100. Растворы электролитов, наоборот, понижают степень извлечения металла в ряду  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaCl} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_3\text{PO}_4$ . Наличие масла ухудшает кинетику начальной стадии процесса. В присутствии анионного ПАВ извлечение фосфата меди повышается на 10 %, а гидроксида остается неизменным при концентрации ПАВ до 50 мг/л. При больших количествах ПАВ качество очистки от  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  падает, чего можно избежать, повысив токовую нагрузку на электродах.

### Заключение

**А**нализ литературных данных показал, что электрокоагуляцию после химического осаждения используют редко. Чаще метод применяют как самостоятельный, поэтому в данной работе он не рассматривается.

Электрофлотация требует дополнительных капитальных затрат на оборудование и текущих – на электроэнергию, в связи с этим целью большинства разработок является энергосбережение – одно из приоритетных направлений государственной политики в области инноваций. Но пока широкого распространения методы коагуляции и флокуляции не получили.

Детальное изучение традиционно используемых реагентов: ПАА, сульфат и оксихлориды алюминия, выявило основные причины низкой эффективности функционирующих осадительных станций. Во многих работах не уделяется должного внимания влиянию природы дисперсной фазы на процесс хлопьеобразования, хотя авторы [21, 22, 25] отмечают важность этого фактора. За критерии качества очистки принимают, как правило, показатели цветности и мутности воды. К медьсодержащим стокам такой подход не приемлем, так как медь окрашивает воду и снижает ее прозрачность при концентрациях выше 0,5 и 1 мг/л, соответственно [29], а ПДК меди для рыбохозяйственных водоемов составляет 0,001 мг/л [33], что на три поряд-

ка меньше. Необходимы глубокие исследования, одной из многообещающих тем которых является синтез доступных реагентов, выступающих одновременно осадителями и флокулянтами. Производство соединений, обладающих такими свойствами [25, 26, 28], из-за их высокой стоимости не может быть поточным.

Следует отметить, что все рассмотренные методы в той или иной степени увеличивают общее солесодержание стоков, которое и так возрастает при использовании осадителей. Это ограничивает возврат воды в технологический цикл, либо создает дополнительную нагрузку на обессоливающее оборудование на стадии доочистки. Отказаться полностью от реагентных технологий нельзя [6], так как они относятся к низкой ценовой категории и незаменимы при обработке концентрированных стоков. Поэтому применение, организация и аппаратурное оформление реагентного процесса – решение, индивидуальное для каждого предприятия.

### Литература

1. Аксенов В.И. Организационные проблемы водного хозяйства металлургических предприятий / В.И. Аксенов, О.А. Архипова, И.А. Сидорова, И.И. Ничкова // Сталь. 2005. № 8. С. 96-98.
2. Аксенов В.И. Водное хозяйство промышленных предприятий в XXI веке. Куда идем? // Тез. докл. междунар. Симпозиума «Чистая вода России – 2005», Екатеринбург: РосНИИВХ. 2005. С. 151-152.
3. Румянцев И.С. Водное хозяйство в России – сегодня и в перспективе // Гидросооружения. 2009. № 3. С. 32-43.
4. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. распоряжением Правительства РФ № 1235-р от 27.08.2009.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 22.12.2010. № 1092 «О федеральной целевой программе «Чистая вода» на 2011-2017 годы».
6. Иканина Е.В. Реагентные методы очистки стоков от меди (II) / Е.В. Иканина, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева // Вода: химия и экология. 2011. № 9. С. 39-47.
7. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды. / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торошечников. М.: Химия, 1989. 512 с.
8. Запольский А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение / А.К. Запольский, А.А. Баран. Л.: Химия, 1987. 208 с.
9. Гетманцев С.В. Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами / С.В. Гетманцев, И.А. Нечаев, Л.В. Ганду-



рина. М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 2008. 272 с.

10. Шидловская И.П. Определение оптимальных условий осаждения гидроксидов металлов-примесей при очистке сточных вод / И.П. Шидловская, Г.И. Мальцев, С.С. Набойченко // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. 2005. № 6. С. 14-16.
11. Линников О.Д. Сравнение коагулирующей активности алюмо- и железосодержащих реагентов / О.Д. Линников, И.В. Родина, В.И. Аксенов, В.А. Никулин, С.С. Пещура // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 12. С. 38-41.
12. Тужилин А.С. Изучение кинетики взаимодействия металлического алюминия с соляной кислотой / А.С. Тужилин, Ю.А. Лайнер, Л.М. Сулова // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. 2003. № 3. С. 19-23.
13. Тужилин А.С. Синтез и исследование различных форм гидроксохлорида алюминия, полученного из алюминийсодержащих отходов / А.С. Тужилин, Ю.А. Лайнер, Л.М. Сулова // Химическая технология. 2006. № 9. С. 2-6.
14. Тужилин А.С. Физико-химические свойства гидроксохлоридов алюминия различной основности / А.С. Тужилин, Ю.А. Лайнер, Л.М. Сулова // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. 2007. № 2. С. 18-23.
15. Краткая медицинская энциклопедия: В 3-х т. АМИ СССР / Под ред. Б.В. Петровского. 2-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1989. Т. 2. 608 с.
16. Общая токсикология / Под ред. Б.А. Курляндского, В.А. Филова. М.: Медицина, 2002. 608 с.
17. Соломенцева И.В. Проблемы остаточного алюминия в очищенной воде / И.В. Соломенцева, Л.А. Величанская, Н.Г. Герасименко // Химия и технология воды. 1991. Т. 13. № 6. С. 517-534.
18. Потанина В.А. Эффективность применения алюможелезного коагулянта для очистки сточных вод / В.А. Потанина, А.А. Хачатуров, Л.И. Тонков // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 3. С. 36-39.
19. Сорокина И.Д. Синтез и оценка эффективности использования железоалюминиевого коагулянта для очистки воды / И.Д. Сорокина, А.Ф. Дресвянников // Вестник Казанского технологического университета. 2009. № 4. С. 146-158.
20. Сорокина И.Д. Железоалюминиевый коагулянт для очистки воды / И.Д. Сорокина, А.Ф. Дресвянников // Экология и промышленность России. 2010. № 5. С. 48-51.
21. Куренков В.Ф. Применение полиакриламидных флокулянтов для водоочистки / В.Ф. Куренков, Н.-Г. Hartan, Ф.И. Лобанов

// Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. №. 11. С. 31-40.

22. Куренков В.Ф. Интенсификация водоочистки полиакриламидными флокулянтами / В.Ф. Куренков, Н.-Г. Hartan, Ф.И. Лобанов // Вестник Казанского технологического университета. 2008. № 5. С. 28-49.

23. Пат. 2386592 РФ / Шамуков С.И., Чистяков В.Н., Жариков Л.К., Тихонова Г.Г., Гришин В.П., Гибадуллин З.Р., Александрова Н.Н. Способ очистки кислых маломутных шахтных и подотвальных вод. Заяв. 19.05.2008; опубл. 20.04.2010. Бюл. № 15. Приоритет 27.11.2009.

24. Пестов А.В. Синтез в геле – новый метод получения карбоксиэтилхитозана / А.В. Пестов, Н.А. Журавлев, Ю.Г. Ятлук // Журнал прикладной химии. 2007. Т. 80. № 7. С. 1184-1190.

25. Bratskaya S.Yu. Heavy metals removal by flocculation/precipitation using N-(2-carboxyethyl)chitosans / S.Yu. Bratskaya, A.V. Pestov, Yu.G. Yatluk, V.A. Avramenko // Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects. 2009. V. 339. P. 140-144.

26. Qing Chang. Removal of  $\text{Cu}^{2+}$  and turbidity from wastewater by mercaptoacetyl chitosan / Qing Chang, Min Zhang, Jinxi Wang // J. of Hazardous Materials. 2009. V. 169. P. 621-625.

27. Nidal Hilala. Effects of heavy metals and polyelectrolytes in humic substance coagulation under saline conditions / Nidal Hilala, Mohammed Al-Abria, Antonio Moranb, Hilal Al-Hinaic // Desalination. 2008. V. 220. P. 85-95.

28. Qing Chang. Study on the macromolecular coagulant PEX which traps heavy metals / Qing Chang, Gang Wang // Chemical Engineering Science. 2007. V. 62. P. 4636-4643.

29. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / Под ред. В.Н. Кудрявцева. М.: Глобус, 1998. 302 с.

30. Колесников В.А. Роль среды и природы дисперсной фазы в электрофлотационном процессе извлечения соединений меди из водных растворов / В.А. Колесников, В.И. Ильин, Е.А. Кузнецова // Химическая технология. 2008. Т. 9. № 6. С. 280-286.

31. Колесников В.А. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / В.А. Колесников, В.И. Ильин, Ю.И. Капустин, С.О. Вараксин, П.Н. Кисиленко, Г.А. Кокарев // Под ред. В.А. Колесникова. М.: Химия, 2007. 303 с.

32. Колесников В.А. Электрофлотационная очистка сточных вод от ионов меди и никеля в присутствии поверхностно-активных веществ и нефтепродуктов / В.А. Колесников, О.И. Воробьева, Ю.И. Капустин // Химическая технология. 2010. Т. 11. № 8. С. 505-510.

33. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».



E.V. Ikanina, V.F. Markov, L.N. Maskaeva

## OPTIMIZATION METHODS FOR COPPER (II) IMPURITIES SEDIMENTATION

An overview of copper (II) impurities sedimentation in waste waters has been presented. Commonly used methods for destruction of stable dispersed systems by traditional chemicals and new substances have been described.

Weak and strong points of listed methods were outlined, and future direction of investigations have been proposed. Some aggregation and sedimentation regularities of copper particles were established. The necessity of individual approach in

the reagent process organization has been shown.

**Key words:** sedimentation, coagulation, flocculation, copper (II), wastewater treatment

