

РЕАГЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОКОВ ОТ МЕДИ (II)

Проведен анализ литературных данных по реагентной очистке стоков от меди (II). Выявлены достоинства и недостатки методов. Указаны причины, не позволяющие достичь нормативного качества очистки стоков от меди (II) путем химического осаждения. Установлено, что, несмотря на появление новых альтернативных решений, реагентные технологии остаются востребованными на рынке. Отмечено, что исследования в этой области нацелены на создание безотходных технологических циклов.

Введение

Возрастающее антропогенное воздействие на водные объекты с каждым годом все больше обостряет экологическую ситуацию. В России около 60 % всей потребляемой воды приходится на промышленность [1], при этом очистка сточных вод проходит недостаточно полно и часть токсических соединений, включая тяжелые металлы, в том числе медь, принадлежащие к числу наиболее опасных загрязнителей, попадает в окружающую среду.

Созданием новых и модернизацией существующих технологий очистки стоков заняты специалисты всего мира. В настоящее время наиболее распространены реагентные методы очистки, суть которых заключается в переводе растворимых форм меди (II) в нерастворимые с последующим их выделением в виде осадков.

Целью данного обзора является анализ научных разработок последнего десятилетия по реагентной очистке стоков от меди (II), выявление основных направлений исследований в этой области, оценка востребованности инноваций в реагентных технологиях на промышленном рынке.

Результаты и их обсуждение

Химическое осаждение меди (II) из сточных вод можно проводить различным путем [2-4]:

1) добавлением соответствующих реагентов,

Е.В. Иканина*,
аспирант кафедры
физической
и коллоидной химии,
химико-
технологический
факультет,
ФГАОУ ВПО
Уральский
федеральный
университет
им. первого
Президента России
Б.Н. Ельцина

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



2) смешением кислых и щелочных стоков,
3) хемосорбцией газов,
4) фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы.

Методы просты, технически и финансово доступны, степень очистки определяется величиной произведения растворимости (ПР) образующегося соединения и составляет, в среднем, 80-90 % [5].

Осаждение меди (II) путем добавления реагентов

Щелочное осаждение меди (II) с учетом комплексообразования

Чаще всего используют гидроксидную форму осадка, для $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ПР = $2,2 \cdot 10^{-20}$. Осаждение гидроксида меди требует создания определенного диапазона значений pH (табл. 1) [6].

Кроме того, следует принять во внимание ярко выраженную способность меди, 3d-элемента, к комплексообразованию. В работах [7, 8] определена степень осаждения металла в виде $\text{Cu}(\text{OH})_2$ с учетом гидроксокомплекс-

* Адрес для корреспонденции: lkael@yandex.ru

сов, показано, что обработка стоков щелочью не позволяет снизить концентрацию меди до ПДК рыбохозяйственных водоемов, которая равна 0,001 мг/дм³ [9]. Лигандный фон стоков инициирует процессы комплексообразования, поэтому работы исследователей направлены на определение условий, повышающих эффективность осаждения.

В работе [10] установлено, что максимальная степень осаждения Cu(OH)₂, с учетом гидроксокомплексов металла, наблюдается при pH 10. Результаты исследований апробированы на стоках титаномагниевого производства, увеличение pH с 8,5 до 10 повысило качество работы очистных сооружений. Путем варьирования концентрации водорода можно отделять медь от других сопутствующих загрязнителей. При pH 7 медь в присутствии никеля селективно осаждается каустической содой NaOH из сернокислых стоков [11], так как для образования Ni(OH)₂ необходимо значение pH, равное 10.

С аммиаком медь (II) образует шесть комплексов, очистка стоков от аммиаков меди чаще всего основывается на их разрушении путем нагревания с последующим осаждением Cu(OH)₂. Аэрация позволяет уменьшить количество растворенного аммиака, ее оптимальная скорость, по результатам работы [12], составляет 70 л/мин. Максимальное снижение концентрации металла в стоках с 48,51 мг/л до 0,649 мг/л достигнуто при pH 12. Показано, что применение извести Ca(OH)₂ как щелочного реагента предпочтительнее из экономических соображений, чем каустической соды.

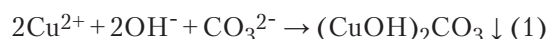
Так как медно-аммиачные комплексы устойчивы при pH от 4 до 11, их можно разрушить корректировкой pH – к кислым отработанным растворам добавить соляную кислоту, к щелочным – едкий калий [13]. Используя уксусную кислоту, из образовавшейся суспензии Cu(OH)₂ авторы предлагают получать пигмент Cu(CH₃COO)₂ · Cu(OH)₂ · 8H₂O, применяемый в смеси с белилами.

ЭДТА-комплексы меди обычно разрушают ионами Fe²⁺. Разработан более простой и дешевый способ очистки стоков с помощью Ca(OH)₂ [14], основанный на реакции замещения кальцием в ЭДТА-комплексах цент-

Л.Н. Маскаева,
доктор химических наук, профессор, кафедра физической и коллоидной химии, химико-технологический факультет, ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

рального атома меди, 99 % которой в результате этого выпадает в осадок. Реакция идет в щелочной среде при pH 12–13 и молярном соотношении Ca:Cu≥2. Углекислый газ, содержащийся в воздухе, оказывает негативное действие на процесс, для его устранения добавляют полиакриламид.

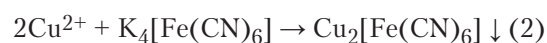
Основной карбонат меди практически не растворим, ПР = 1,7 · 10⁻³⁴ [6], поэтому для экономии средств в производственном секторе часто используют низкосортную известь, содержащую «недожог» в виде CaCO₃, что обеспечивает одновременное присутствие в растворе гидроксидных и карбонатных ионов:



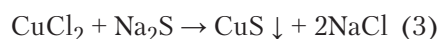
Влияние природы реагентов на степень осаждения меди (II)

Обработка сточных вод щелочными реагентами позволяет снизить содержание меди в растворе до величин, сопоставимых с ПДК водоемов санитарно-бытового назначения. Для глубокой очистки прибегают к другим реагентным технологиям, например, после отделения осадка Cu(OH)₂ в осветленные стоки вводят раствор Na₂SiO₃ в количестве, превышающем стехиометрическую норму в 5-30 раз.

Возможен процесс осаждения меди ферроцианидом калия:



Растворимость сульфида меди значительно меньше растворимости ее гидроксида и карбоната, для CuS ПР=8,5 · 10⁻⁴⁵, поэтому эффективность обработки стоков сульфидом натрия значительно выше. При добавлении Na₂S к кислому отработанному раствору хлорида меди протекает реакция:



Осадок сульфида меди может быть электропроводящим наполнителем полимерных материалов либо после прокаливания до оксида использоваться для получения металлической меди или ее закиси Cu₂O [13].

Таблица 1

Значения pH, необходимые для осаждения гидроксида меди (II)

Гидроксид	Значения pH		
	для начала осаждения при исходной концентрации осаждаемого иона равной		для практически полного осаждения (остаточная концентрация меньше 10 ⁻⁵ М)
	1 М	0,01 М	
Cu(OH) ₂	4,2	6,2	7,1
			для начала растворения осадка
			14



Небольшие количества меди удаляют пиритом FeS_2 . Стоки фильтруют через гранулы пирита, либо вводят порошок в сточную воду. Кроме пирита для этой цели можно использовать сульфид любого другого нетоксичного металла, ПР которого больше, чем у сульфида меди.

Высокая степень очистки достигается при контакте стоков с порошкообразным цинком или железом и либо с их сульфитами, либо с диоксидом серы. Металл в обоих случаях восстанавливает соединения серы до сульфидов, которые, в свою очередь, участвуют в реакции осаждения меди в виде CuS . Процесс ведут при pH 2 и температуре сточных вод 50°C .

1,3,5-гексагидротриазиндитиокарбамат натрия, синтезированный китайскими учеными [15], при pH от 3 до 9 вступает в реакцию с ЭДТА-комплексами меди, в ходе которой медь замещает натрий в структуре полимера и выпадает нетоксичный, устойчивый в слабощелочных и слабокислых средах осадок. Эксперименты на стоках и модельных растворах показали, что концентрация меди снижается с 50 до 0,5 мг/л. Остаточное содержание металла и избыток реагента можно извлечь анионообменной смолой.

Другой органический осадитель, дитиофосфат дипропила [16], образует с тяжелыми металлами, в том числе с медью, нерастворимые комплексные соединения, более устойчивые, чем соответствующие гидроксиды. Эффективность очистки достигает 99,9 % и мало зависит от величины pH и состава стоков. Реакция занимает 20 мин, оптимальное количество комплексона больше стехиометрического в 1,2 раза.

Очистка стоков отходами производства

Вовлечение в очистные процессы дополнительных сырьевых ресурсов дорого и нерационально, использование для этих целей отходов крупнотоннажных производств – оптимальное решение. При добавлении электрометаллургического шлака к сточным водам происходит частичное растворение содержащихся в нем оксидов, гидроксидов и силикатов кальция и магния, что сопровождается повышением pH и гидролизом катионов меди (II). Параллельно с этим в растворе протекают реакции диссоциации и поликонденсации силикатов с образованием золя поликремневых кислот, на частицах которого под действием электростатических сил адсорбируются гидроксиформы меди (II). Полученный осадок можно использовать в качестве добавки к бетонным смесям. Шлак обеспечивает степень очистки стоков не менее 97 %, тогда как гашеная известь –



только 90 % [17]. В работе также исследовалась возможность очистки стоков дефекатом (отходом сахарного производства). Эффективность и химизм действия шлака и термически модифицированного дефеката близки, но термообработка приводит к удорожанию процесса.

Пыль электросталеплавильных печей – тонкодисперсная многокомпонентная система. При введении пыли в сточную воду растворяется входящий в ее состав CaO , что вызывает повышение pH с 5,5 до 9,9 и создает благоприятные условия для образования $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Степень очистки модельных растворов с концентрацией меди 10 мг/л достигает 99,5 %, стоков гальванического цеха, содержащих 58,6 мг/л металла – 98,8 % [18]. Использование золы в качестве затравочных кристаллов и карбонизация стоков повышают эффективность осаждения меди известью до 99,5 % [19]. Образующиеся частицы состава $2\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ быстро агломерируются и оседают. Реакции дегидратации и кристаллизации, самопроизвольно протекающие в осадке, упрощают процедуру его утилизации. Источником золы и CO_2 может выступать отходящий топочный газ, что позволит снизить выбросы теплоэлектростанций.

Разработана технология глубокой очистки стоков с помощью коллоидной суспензии ферроферригидрозоля, получаемой путем анодного растворения стальной стружки и отходов штамповки [20]. Суспензия химически не агрессивна, проявляет свойства сорбента, коагулянта и восстановителя, последнее объясняется преобладанием в ее составе дисперсной фазы Fe (II). При обработке суспензией стоков производства печатных плат одновременно осаждаются все содержащиеся в них тяжелые металлы, в частности, концентрация меди снижается с 46 до 0,01 мг/л.



Дополнительное засоление, возникающее при использовании щелочных реагентов, не происходит. Вода после очистки не токсична и пригодна к повторному применению, что подтверждено биологическим тестированием на рачках дафнии. Образующийся в ходе процесса шлам относится к 4-ому классу опасности, устойчив в средах при pH выше 4, подходит для использования в строительной керамике, производстве железосодержащих пигментов [21]. Существующее на предприятии оборудование реагентной очистки можно адаптировать под предлагаемую технологию, что делает ее максимально доступной.

Осаждение меди (II) смешением кислых и щелочных стоков

Некоторые производства характеризуются образованием как кислых, так и щелочных медьсодержащих стоков, в таком случае очистку целесообразно проводить путем их нейтрализации смешением. Исследования по смешению двух оборотных растворов, в состав одного из которых входит пиррофосфат калия $K_4P_2O_7$, другого – ионы хлора и аммиак, показали, что в осадок выпадает двойная соль $Cu_3K_2(P_2O_7)_2 \cdot 3H_2O$ и при оптимальных условиях степень осаждения составляет 99,7 % [22]. Более глубокая очистка достигается применением ортофосфата магния-аммония $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$, оксида либо хлорида кальция.

Отработанные растворы производства печатных плат можно утилизировать аналогичным образом. Нейтрализация кислого раствора травления щелочным [23] сопровождается образованием труднорастворимого основного хлорида меди. При pH 5 из растворов удаляется 99 % исходного количества меди в виде $Cu(OH)Cl$, оставшуюся часть осаждают гид-

рофосфатом и фосфатом натрия. Полученные осадки, содержащие смесь гидроксихлорида и фосфата меди, доочищают и используют в качестве химреактивов.

Авторы [24] разработали технологию совместной очистки кислотно-щелочных стоков гальванопроизводства и стоков, содержащих тяжелые металлы, в том числе медь, в количестве 46 мг/л. Технология основана на сочетании химического осаждения и сорбционной доочистки. Осаждение проводится смешением стоков и обработкой известковым молоком вместе с полиакриламидом. После осаждения в виде гидроксида содержание меди в объединенном потоке составляет 2,3 мг/л.

Осаждение меди (II) хемосорбцией газов

Абсорбция газов водными растворами в некоторых случаях сопровождается химической реакцией с образованием нерастворимого соединения, что позволяет использовать газы в качестве осадителей.

Сероводород селективно осаждает медь (более 90 %) из раствора при pH 1,5 [25], другие тяжелые металлы переходят в сульфидную форму в слабокислой или нейтральной среде. Близкие по значению константы скорости выделения CuS из одно- и многокомпонентных растворов указывают на малую долю соосаждения. Метод позволяет разделять содержащиеся в стоках металлы, что значительно упрощает переработку осадков.

С другой стороны, абсорбционные методы широко применяют для обезвреживания выбросов. Проводить одновременную очистку рационально на предприятиях, осуществляющих сбросы, и выбросы, состав которых – основной критерий, определяющий возможность такого процесса.

Особенности взаимодействия жидкой и газовой фазы необходимо учитывать при выборе конструкции оборудования. Степень хемосорбции сероводорода растворами, содержащими один [26, 27] либо два тяжелых металла [28], возрастает в ряду $FeSO_4 \rightarrow ZnSO_4 \rightarrow CuSO_4$. Кинетические исследования показали, что размер частиц осадка и скорость осаждения находятся в прямой зависимости от величины pH растворов и концентрации сероводорода в газовом потоке, но во всех случаях процесс лимитирует стадия массопереноса. Ошибка модели процесса для расчета абсорберов и оптимальной скорости движения газа в них, составленной с учетом сделанного допущения, не превышает погрешности инженерных расчетов. Модель успешно использовалась в проектировании установки для обессеривания отходящих газов.

Новые подходы в организации реагентных процессов с использованием нейтрализующих материалов

В некоторых случаях прибегают к нестандартным реагентным технологиям. Изучен механизм осаждения меди из сульфатных растворов природными карбонатами кальция и предложено искусственно создавать из них дренажный геохимический барьер по периметру источника загрязнения [29]. Такой метод, по мнению авторов, является альтернативой строительства очистных сооружений. Кроме того, он позволит отработать отвалы забалансовых руд, причем содержание металла в конечных растворах составит менее 0,01 мг/л, но необходимо долговременное действие осадителя и периодическая его замена. Очистка стоков описанным способом в реакторе, встроенном в технологическую схему, требует обработки осадка острым паром с последующим затворением водой и грануляцией [30, 31]. В ходе процесса образуются основные сульфаты меди (II). Кальцит приводит к осаждению брошантита $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$, переходящего при хранении в познякит $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и гипс. Конечной стадией осаждения меди с участием доломитизированного и мраморизованного известняка является девиллин $\text{CaSO}_4 \cdot \text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ [32].

Идея создания эффективного дренажного барьера интересует многих исследователей. Разработана модель взаимодействия металлосодержащих стоков с барьером на основе природного известняка [33]. Выполненные расчеты и опыты показали, что при невысокой скорости фильтрации стоки нейтрализуются

Ключевые слова:

химическое
осаждение,
реагентные методы,
медь (II),
стоки,
степень очистки

ются до pH 7,1, концентрация меди, а также других тяжелых металлов, если они присутствуют, снижается на 1-2 порядка.

Заключение

Анализ литературных данных показал, что традиционная щелочная обработка медьсодержащих стоков не обеспечивает должного качества очистки, определенными нормативами. Кроме того, велик расход самих реагентов, что нерационально. Отмечают [5, 7, 20] и ряд других недостатков – это, прежде всего, увеличение общего солевого содержания воды, проблемы утилизации образующихся шламов и потеря вместе с ними ценных компонентов, необходимость больших производственных площадей для размещения оборудования. С другой стороны, используемые реагенты доступны, скорость процесса высокая, очистные станции просты в эксплуатации, отсутствует верхний предел для исходной концентрации подаваемых на обработку стоков, в отличие от методов глубокой очистки (ионообменных, мембранных, термических).

В связи с этим, реагентные технологии, несмотря на появление альтернатив, модернизируют и продолжают применять в современных схемах очистки как первую ступень. В создании новых, более эффективных и дешевых реагентных методов заинтересованы, в первую очередь, предприятия со средними финансовыми возможностями. Поэтому исследования в этой области направлены на повышение качества очистки





путем вовлечения в процесс отходов других производств и на получение осадков в виде конечных продуктов с известной сферой применения, то есть на создание замкнутых технологических циклов.

Литература

1. Аксенов В.И. Совершенствование водного хозяйства промышленных предприятий. / В.И. Аксенов, В.А. Никулин, И.И. Ничкова, С.С. Пецура, Е.А. Русанова, В.Л. Подберезный. // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 12. С. 25-28.
2. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды. / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торшечников. М.: Химия, 1989. 512 с.
3. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод. / С.В.Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. М.: Стройиздат, 1985. 335 с.
4. Бучило Э. Очистка сточных вод травильных и гальванических отделений. М.: Металлургия, 1974. 200 с.
5. Зубарева Г.И. Способы очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов. / Г.И. Зубарева, А.В. Гуринович, М.И. Дегтев. // Экология и промышленность России. 2008. № 1. С. 18-20.
6. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989. 448 с.
7. Иканина Е.В. Оценка эффективности очистки стоков осаднением и композиционным сорбентом. / Е.В. Иканина, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева. // Экологический вестник России. 2010. № 6. С. 30-34.
8. Иканина Е.В. Сорбционная технология извлечения меди из гальваностоков. / Е.В. Иканина, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева. // Экология производства. 2010. № 10 (75). С. 52-55.
9. Вредные химические вещества. Неорганические соединения I-IV групп: справ. изд. / А.Л. Бандман, И.В. Волкова, Т.Д. Грехова и др. Под ред. В.А. Филова и др. Л.: Химия, 1988. 512 с.
10. Ширинкина Е.С. Обоснование технологических параметров процесса нейтрализации сточных вод титаномагниевого производства. / Е.С. Ширинкина, И.С. Глушанкова, Н.Г. Осипенко. // Вода и экология: проблемы и решения. 2009. № 1. С. 42-47.
11. Giannopoulou I. Differential precipitation of copper and nickel from acidic polymetallic aqueous solutions. / I. Giannopoulou, D. Panias. // Hydrometallurgy. 2008. V. 90. Iss. 2-4. P. 137-146.
12. Mirbagheri S.A. Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with the objective of reuse. / S.A. Mirbagheri, S.N. Hosseini. // Desalination. 2005. V. 171, № 1. P. 85-93.
13. Евдокимова Н.А. Утилизация медьсодержащих отработанных травильных растворов. / Н.А. Евдокимова, В.М. Макаров. // Экология и промышленность России. 2005. № 1. С. 28-29.
14. Shuxian Jiang. A simple method for removing chelated copper from wastewaters: Ca(OH)₂-based replacement-precipitation. / Shuxian Jiang, Fenglian Fu, Junxiong Qu, Ya Xiong. // Chemosphere. 2008. V. 73. Iss. 5. P. 785-790.
15. Fenglian Fu. Effective removal of coordinated copper from wastewater using a new dithiocarbamate-type supramolecular heavy metal precipitant. / Fenglian Fu, Haiyan Zeng, Qinhong Cai, Rongliang Qiu, Jimmy Yu, Ya Xiong. // Chemosphere. 2007. V. 69. Iss. 11. P. 1783-1789.
16. Xu Ying. Experimental research on heavy metal wastewater treatment with dipropyl dithiophosphate. / Xu Ying, Zhang Fang. // J. of Hazardous materials. 2006. V. 137. Iss. 3. P. 1636-1642.
17. Лупандина Н.С. Использование производственных отходов для очистки сточных вод. / Н.С. Лупандина, Н.Ю. Кирюшина, Ж.А. Свергузова, Д.А. Ельников. // Экология и промышленность России. 2010. № 5. С. 38-41.
18. Свергузова С.В. Использование пыли электросталеплавильных печей для очистки сточных вод от ионов никеля и меди. / С.В. Свергузова, О.Д. Лашина. // Экология и промышленность России. 2008. № 4. С. 46-47.
19. Quanyuan Chena. Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide. / Quanyuan Chena, Zhou Luo, Colin Hillsb, Gang Xuea, Mark Tyrerc. // Water research. 2009. V. 43. P. 2605-2614.

20. Будиловскис Ю.Я. Технология глубокой очистки стоков и утилизации отходов. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2006. № 2. С. 32-34.
21. Будиловскис Д. Составы и свойства осадков, полученных при очистке сточных вод ферроферригидрозодем. / Д. Будиловскис, П. Балтренас, Д. Щупакас, Л.С. Ещенко. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2004. № 11. С. 36-38.
22. Albinas Pigaga. Simultaneous decontamination of two copper ligand-containing solutions by mixing and precipitation. / Albinas Pigaga, Algirdas Selskis, Vidas Pakštas, Rita Butkienė, Remigijus Juškėnas. // Hydrometallurgy. 2005. V. 79, № 3-4. P. 89-96.
23. Богуславская Л.А. Способ утилизации медьсодержащих стоков. / Л.А. Богуславская, А.И. Зельдова. // Экология производства. 2005. № 7. С. 30-32.
24. Зубарева Г.И. Глубокая очистка сточных вод гальванического производства. / Г.И. Зубарева, А.В. Гуринович. // Экология и промышленность России. 2008. № 12. С. 16.
25. Tokuda H. Study on reaction kinetics and selective precipitation of Cu, Zn, Ni and Sn with H₂S in single-metal and multi-metal systems. / H. Tokuda, D. Kuchar, N. Mihara, M. Kubota, H. Matsuda, T. Fukuta. // Chemosphere. 2008. V. 73. Iss. 9. P. 1448-1452.
26. H. ter Maat. Theoretical and experimental study of the absorption rate of H₂S in CuSO₄ solutions: the effect of enhancement of mass transfer by a precipitation reaction. / H. ter Maat, Mousa Al-Tarazi, J.A. Hogendoorn, J.P.M. Niederer, Geert F. Versteeg. // Chemical engineering research and design. 2007. V. 85. Iss. 1. P. 100-108.
27. H. ter Maat. The removal of hydrogen sulfide from gas streams using an aqueous metal sulfate absorbent. Part I. The absorption of hydrogen sulfide in metal sulfate solutions. / H. ter Maat, J.A. Hogendoorn, Geert F. Versteeg. // Separation and purification technology. 2005. V. 43. Iss. 3. P. 183-197.
28. Mousa Al-Tarazi. Precipitation of metal sulphides using gaseous hydrogen sulphide: mathematical modeling. / Mousa Al-Tarazi, A. Bert M. Heesink, Geert F. Versteeg. // Chemical engineering science. 2004. V. 59. Iss. 3. P. 567-579.
29. Жижаев А.М. Осаждения меди с использованием природных карбонатов кальция. / А.М. Жижаев, В.И. Брагин, А.Г. Михайлов. // Обогащение руд. 2001. № 5. С. 13-17.
30. Пат. 2191750 РФ / Жижаев А.М., Брагин В.И., Михайлов А.Г. Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых цветных металлов. Заяв. 15.06.2001; опубл. 27.10.2002. Бюл. № 30.
31. Пат. 2182130 РФ / Жижаев А.М., Брагин В.И., Михайлов А.Г. Способ обработки сточных вод, содержащих ионы меди. Заяв. 14.10.1999; опубл. 10.05.2002. Бюл. № 13.
32. Жижаев А.М. Осаждение меди из сульфатных растворов карбонатами кальция. / А.М. Жижаев, Е.Н. Меркулова, В.И. Брагин. // Ж. прикладной химии. 2007. Т. 80. № 10. С. 1603-1606.
33. Юркевич Н.В. Осаждение металлов, мышьяка и сурьмы из дренажного потока на карбонатном барьере по данным анализа РФА-СИ. / Н.В. Юркевич, С.Б. Бортникова, С.А. Лапицкий, М.А. Фроликова, Ю.П. Колмогоров, О.П. Саева. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2008. № 11. С. 52-56.



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

CHEMICAL WASTEWATER TREATMENT METHODS OF COPPER (II)

Literature analysis on copper (II) wastewater treatment has been carried out. The strong and weak points were outlined. Impossibility of reaching acceptable copper (II) concentration in purified water using

chemical deposition technique has been proved. In spite of new alternative technologies chemical treatment is still a competitive method. Research in this area aims to create waste-free technology cycles.

Key words: chemical deposition, reagent methods, copper (II), sewage, purification rate