

Таким образом, применение растительных сорбентов в качестве сорбентов для удаления загрязняющих веществ из водных сред является перспективным направлением в развитие экологических систем очистки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lagergren S. About the Theory of so-called Absorption of Soluble Substances. Kung Sven Vetensk. Hand. 1898. - V. 24:1. - P.39.
2. Ho Y.S., McKay G. // Process Saf. Environ. Protect. 1998. - V.76B. - P. 183.
3. Ho Y.S., McKay G. // Trans IChemE. 1998. - V.76. - P.332-340.
4. Zeldowitsch J. // Acta Physicochim. 1934. - URSS 1. - P. 364-449.
5. Chien S.H., Clayton W.R.// Soil Science Society of America Journal.1980. - V.44. - P.265.

*Доронкина И. Г., Голуб О. В.*

Федеральное государственное автономное учреждение «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики», г. Москва, Российская Федерация

### РЕАГЕНТНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

*Аннотация.* В данной статье рассмотрены химические методы очистки сточных вод. Освещены методы реагентной очистки сточных вод по характеру процесса при их обработке реагентами: нейтрализации, химического осаждения, окисления, восстановления и агрегирования.

*Ключевые слова:* нейтрализация, осаждение, окисление, восстановление, агрегирование.

*Doronkina I. G., Golub O. B.*

Federal State Autonomous Institution "Scientific Research Institute "Center for Environmental Industrial Policy", Moscow, Russian Federation

### REAGENT WASTEWATER TREATMENT

*Abstract.* This article discusses chemical methods of wastewater treatment. The methods of reagent wastewater treatment by the nature of the process during their treatment with reagents are highlighted: neutralization, chemical precipitation, oxidation, reduction and aggregation.

*Key words:* neutralization, precipitation, oxidation, reduction, aggregation.

Химические методы очистки сточных вод базируются на применении реагентов различного целевого назначения; реагенты применяют также для обеззараживания воды на стадии её подготовки для хозяйственно-питьевых целей [8].

Методы реагентной очистки сточных вод можно классифицировать по принципиальному характеру процесса, протекающего в объеме сточных вод при их обработке реагентами [7]:

- нейтрализация;

- химическое осаждение;
- окисление;
- восстановление;
- агрегирование (укрупнение коллоидных частиц и шламов – процессы коагуляции и флокуляции).

Процессы *нейтрализации*, химического осаждения, окисления и восстановления связаны с протеканием химических реакций в объеме жидкой фазы и приводят к потере характерных свойств вступающих в реакцию веществ (одни вещества превращаются в другие). Процессы коагуляции и флокуляции тонкодисперсных взвешенных частиц не связаны с образованием новых веществ и лишь приводят к изменению их крупности (реакции протекают на поверхности раздела фаз).

Одни и те же реагенты могут выполнять разные функции в процессах очистки сточных вод.

В практике очистки сточных вод применяют следующие реагенты [2]:

- в процессах нейтрализации: оксид кальция; гидроксид кальция (известковое молоко); карбонат кальция (известняк, мел); карбонат магния (магнезит); доломит; карбонат натрия (сода); гидроксиды натрия и калия; доменные шлаки; аммиачная вода; кислые дымовые газы (нейтрализация щелочных СВ)

- в процессах химического осаждения: гидроксид кальция (известковое молоко); карбонат кальция (известняк, мел, мрамор); карбонат натрия (сода); гидроксид натрия (едкий натр); сульфид натрия; сульфат железа (железный купорос); сульфат алюминия; хлорид бария; сульфид железа (пирит); ферроцианид калия; пиролюзит + известковое молоко; феррохромовый шлак; реагенты – окислители (хлор, хлорная известь, озон и др.);

- в процессе окисления: хлор; хлорная известь; гипохлорит кальция; гипохлорит натрия; диоксид хлора; озон; кислород воздуха; пероксид водорода; реагент Фентона – смесь соли и пероксида водорода; перманганат калия; бихромат калия;

- в процессах восстановления: сульфат железа; гидросульфит (бисульфит) натрия; диоксид серы; сульфид железа (пирит); ацетат бария; древесный уголь; железный порошок; алюминиевая пудра; гидразин;

- в процессах коагуляции: сульфат алюминия; сульфат железа; хлорид железа; метаалюминат натрия; гидроксохлорид алюминия; алюмокалиевые квасцы;

- в процессах флокуляции: активный диоксид кремния; полиакриламид; природные флокулянты (крахмал, декстрин, карбоксиметилцеллюлоза КМЦ); синтетические флокулянты.

Нейтрализации подвергают сточные воды, содержащие минеральные кислоты и щелочи, если рН среды меньше 6,5 и больше 8,5 (нормируемые значения рН при сбросе сточных вод в водные объекты).

В реакциях нейтрализации взаимодействуют основания и кислоты.

Нейтрализация сточных вод путем их обработки реагентами – один из самых распространенных способов нейтрализации [1].

Наиболее дешевым и одновременно эффективным реагентом для нейтрализации кислых сточных вод является гидроксид кальция (известковое молоко) с содержанием активной извести 5-10%, а также доломит и мел. Такие реагенты как сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и гидроксид натрия  $\text{NaOH}$  целесообразно использовать, если они в достаточном количестве содержатся в отходах производства (например, доменные шлаки используются для нейтрализации сточных вод, содержащих серную кислоту).

Выбор реагентов для нейтрализации кислых сточных вод зависит от их состава. В частности, необходимо учитывать, что реакции нейтрализации могут сопровождаться образованием осадков, способных забивать трубопроводы и аппараты.

Осадки образуются:

- при использовании кальцийсодержащих реагентов для нейтрализации сточных вод, содержащих серную и сернистую кислоты (образуются выпадающие в осадок плохо растворимые в воде кальциевые соли этих кислот);
- при нейтрализации кислых сточных вод металлургических предприятий, содержащих тяжелые металлы (происходит осаждение гидроксидов этих металлов).

Для предупреждения зарастания стенок трубопроводов рекомендуется реализация следующих мероприятий:

- добавка в сточные воды гексаметафосфата натрия (умягчение воды);
- промывка трубопроводов чистой водой;
- добавка в сточные воды «затравочных» кристаллов гипса (осадки преимущественно образуются в объеме сточных вод, а не на поверхности трубы).

Расход реагентов, используемых для нейтрализации кислых сточных вод, содержащих серную, соляную, азотную, ортофосфорную и уксусную кислоты, составляет 0,6-1,6кг/кг.

Функцию реагентов при нейтрализации кислых сточных вод могут выполнять крупнокусковые материалы определенного состава, используемые в качестве фильтров-нейтрализаторов, которые могут быть вертикальными и горизонтальными. Нейтрализация осуществляется путем фильтрования кислых сточных вод через слой магнезита, доломита, известняка, подходящих твердых отходов (шлак, зола). Размер кусков фильтрующего материала 10-80мм. Скорость фильтрования при использовании вертикальных фильтров – не более 5м/ч, продолжительность контакта не менее 10 минут (высота слоя материала около 1м). У горизонтальных фильтров скорость течения сточных вод – не более 3м/ч. Если через фильтр-нейтрализатор пропускаются сточные воды, содержащие серную кислоту, а в качестве фильтрующего материала используются кальцийсодержащие минералы, то образующиеся осадки сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  будут забивать поры и фильтрование

прекратится; целесообразно в таких случаях использовать в качестве фильтрующего материала карбонат магния (образующийся сульфат магния  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  характеризуется достаточно высокой растворимостью).

На ряде производств, например, на асбоцементных заводах, образуются щелочные сточные воды, имеющие рН 12-13. Для нейтрализации щелочных сточных вод используют отходящие газы, содержащие  $CO_2$  и  $SO_2$  (кислые газы). Чаще всего в реакции нейтрализации участвует диоксид углерода дымовых газов (5-6%  $CO_2$ ).

При обработке щелочных сточных вод углекислым газом образуется карбонат кальция  $CaCO_3$ , который может быть утилизирован. Отсюда нейтрализацию щелочных сточных вод кислыми отходящими газами можно рассматривать как ресурсосберегающую технологию (комплексная переработка отходов). Чтобы предотвратить образование карбонатных отложений на стенках аппаратов часть нейтрализованных сточных вод дозируют в исходные сточные воды (для снижения рН).

К ресурсосберегающей технологии можно отнести нейтрализацию сточных вод смешиванием, когда на предприятии образуются как кислые, так и щелочные сточные воды, не загрязненные другими примесями. Кислые и щелочные сточные воды смешивают в специальной емкости, используя для перемешивания либо воздух, либо мешалку. При избытке кислых или щелочных сточных вод добавляют соответствующие реагенты.

*Химическое осаждение* применяют для очистки сточных вод от тяжелых металлов (меди, цинка, свинца, кадмия, никеля и др.). Ионы тяжелых металлов переводятся с помощью реагентов в труднорастворимые в воде соединения с последующим их отделением от воды в виде осадков [4].

При переводе ионов тяжелых металлов в осадок чаще всего протекают реакции ионного обмена, реже – окислительно-восстановительные реакции.

Остаточная концентрация ионов тяжелых металлов в сточных водах не должна превышать нормы ПДК для водоемов санитарно-бытового водопользования (мг/л): ионов меди, никеля и свинца – 0,1, ионов цинка – 1, кадмия – 0,01, кобальта – 1, ртути – 0,001, мышьяка – 0,05.

Равновесие реакции ионного обмена смещается в сторону образования того из веществ, которое труднее растворимо.

Растворимость мало растворимых веществ выражают при помощи произведения растворимости (ПР).

Используя величины произведения растворимости как базовую основу для расчетов, можно сделать ряд практически важных выводов:

- при выборе реагента-осадителя необходимо руководствоваться, при прочих равных условиях, минимальными значениями ПР образующихся соединений (в частности, более глубокая очистка от тяжелых металлов достигается при обработке сточных вод сульфидом натрия, а не щелочными реагентами, поскольку растворимость сульфидов тяжелых металлов значительно меньше растворимости гидроксидов, а также карбонатов);

- для существенного снижения растворимости труднорастворимого вещества и, соответственно, для увеличения полноты его осаждения из сточных вод, необходимо, исходя из постоянства значения ПР, искусственно повысить концентрацию одного из ионов путем добавления небольшого количества легкорастворимой соли с общим ионом в составе осадка, что автоматически приведет к снижению концентрации другого иона за счет его выпадения из раствора в осадок;

- чтобы добиться возможно более полного осаждения какого-нибудь иона реагент-осадитель следует брать в небольшом избытке (исходя из требуемого по уравнению реакции).

Наиболее универсальным способом очистки сточных вод от солей тяжелых металлов является их обработка известковым молоком (гидроксидом кальция), приготовленным из известки III сорта. При этом происходит одновременное осаждение катионов тяжелых металлов в виде гидроксидов, карбонатов и гидросолей. Экспериментально установлено, что при совместном осаждении нескольких металлов достигаются лучшие результаты, чем при осаждении каждого из металлов в отдельности (возможно, это связано с образованием смешанных кристаллов и адсорбцией ионов металлов на поверхности твердой фазы) [3].

Следует отметить, что при химической очистке сточных вод известью переводятся в труднорастворимые кальциевые соли жирные кислоты (олеиновая кислота, талловое масло); за счет выпадения в осадок кальциевых солей содержание жирных кислот в сточных водах существенно снижается.

Для более глубокой очистки сточных вод от тяжелых металлов необходимо, как отмечено, известь заменить на сульфид натрия. Растворимость сульфидов тяжелых металлов значительно меньше растворимости любых других труднорастворимых соединений – гидроксидов и карбонатов. Сульфид натрия находит применение для очистки сточных вод от ртути (для осаждения образующегося сульфида ртути в виде гранул после обработки сточных вод  $\text{Na}_2\text{S}$  добавляют  $\text{NaCl}$ ).

Образующиеся при очистке сточных вод гидроксиды и сульфиды тяжелых металлов образуют устойчивые коллоидные системы, поэтому для интенсификации процесса их осаждения необходимо использовать коагулянты и флокулянты.

*Окислительные процессы* применяются для комплексной очистки сточных вод от всех токсичных соединений, способных окисляться, т.е. вступать в окислительно-восстановительные реакции, превращаясь в конечном итоге в другие, нетоксичные вещества [6].

В качестве реагентов-окислителей наиболее часто применяют хлорную известь, гипохлорит кальция  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ , гипохлорит натрия  $\text{NaClO}$ , реже – жидкий хлор. Широко применяют озонирование (в том числе для обеззараживания воды). Хлорную известь (хлорат кальция) получают при взаимодействии  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2 = \text{CaOCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

Окислительные методы применяют для очистки сточных вод от цианидов (ПДК для водоемов санитарно-бытового водопользования 0,1 мг/л), от фенолов, ксантогенатов и дитиофосфатов (ПДК 0,001 мг/л). Одновременно реагенты-окислители осаждают ионы тяжелых металлов в виде труднорастворимых соединений (если для очистки сточных вод используют хлорную известь или гипохлорит, то дополнительные реагенты для осаждения ионов тяжелых металлов не требуются).

Помимо хлорсодержащих реагентов, для очистки сточных вод от цианидов можно использовать озон. Окисление озоном позволяет одновременно осуществлять обесцвечивание воды, устранение запахов и обеззараживание (бактерии погибают в тысячи раз быстрее, чем при обработке воды хлором). Озонирование представляет собой процесс абсорбции, сопровождаемый химической реакцией в жидкой фазе.

На установках очистки сточных вод озонированием предусматривается очистка отработанных газов от остатков озона (деструкция остаточного озона с применением методов адсорбции на активном угле, катализа, пиролиза). Перспективными считаются способы применения озона, основанные не на окислении загрязняющих веществ до конечных продуктов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ), а на переводе их из одного фазового состояния в другое (например, из растворенного в коллоидное) с последующей очисткой сточных вод традиционными способами (при этом на несколько порядков сокращается расход озона).

*Восстановительные процессы* применяются для очистки сточных вод, содержащих легко восстанавливаемые вещества.

Практически методы восстановления используют для очистки сточных вод от соединений ртути и хрома. В качестве реагентов-восстановителей чаще всего используют сульфат двухвалентного железа  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , бисульфит натрия  $\text{NaHSO}_3$ , диоксид серы  $\text{SO}_2$ .

Для восстановления *ртути и её соединений* предложено несколько реагентов – сульфид железа (пирит)  $\text{FeS}_2$ , бисульфит натрия  $\text{NaHSO}_3$ , железный порошок, алюминиевая пудра, древесный уголь, гидразин  $\text{N}_2\text{H}_4$  и др. При этом органические соединения ртути сначала окисляют с целью разрушения соединения, затем катионы ртути восстанавливают до металлической ртути. Неорганические соединения ртути восстанавливают до металлической ртути с последующим её отделением от сточных вод отстаиванием, фильтрованием или флотацией.

Под *агрегированием* понимается процесс укрупнения тонкодисперсных частиц (шламов, коллоидных частиц) в результате их взаимодействия, приводящего к объединению в агрегаты (флокулы) [5].

Процесс агрегирования, т.е. образования флокул, состоит из двух последовательных стадий – соударения (при встрече частиц друг с другом) и прилипания.

Процессы агрегирования при очистке сточных вод включают несколько операций: дозирование, смешивание реагентов со сточными водами,

хлопьеобразование и осаждение хлопьев. Для повышения эффективности очистки сточных вод в процессах агрегирования целесообразно использовать сочетания реагентов-коагулянтов и флокулянтов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузенко, М. В. Химические методы очистки сточных вод / М. В. Гузенко // Непрерывная система образования. Инновации и перспективы: Сборник статей международной студенческой конференции, Воронеж, 30 октября 2020 года. – Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ростовский государственный университет путей сообщения" в г. Воронеж, 2020. – С. 238-240.
2. Доронкина, И. Г. Эколого-экономическая эффективность технологических процессов очистки сточных вод / И. Г. Доронкина, О. Н. Борисова // Сервис в России и за рубежом. – 2015. – Т. 9. – № 4(60). – С. 112-121. – DOI 10.12737/16090.
3. Иванчук, А. М. Анализ процессов очистки сточных вод / А. М. Иванчук, Е. В. Малич, М. М. Смородинова // NovaUm.Ru. – 2021. – № 30. – С. 145-150.
4. Корсунова, Д. А. Современные методы очистки сточных вод / Д. А. Корсунова, М. В. Жолобова // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. – 2018. – 5. № 2-2. – С. 57-61.
6. Корчевская, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю. В. Корчевская, А. А. Кадысева, А. А. Маджугина. – Омск : Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2017. – 136 с. – ISBN 978-5-89764-613-5.
7. Котовчихина, Е. А. Методы очистки сточных вод / Е. А. Котовчихина // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : Материалы V Всероссийской научно-технической конференции молодых исследователей (с международным участием), Волгоград, 23–28 апреля 2018 года / Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2018. – С. 132-134.
8. Шубов, Л. Я. Повышение экоэффективности технологии очистки сточных вод / Л. Я. Шубов, О. Н. Борисова, И. Г. Доронкина // Сервис в России и за рубежом. – 2014. – № 1(48). – С. 153-162.
9. Шубов, Л. Я. Повышение экоэффективности технологии очистки сточных вод /
10. Л. Я. Шубов, О. Н. Борисова, И. Г. Доронкина // Водоочистка. – 2016. – № 11. – С. 26-32.

*Ибатуллин А. Н., Ряписова Л. В.*

Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КАССЕТ «ПОЛИВОМ» ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ФЕДЕРАЛЬНОГО КАЗЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «АВАНГАРД»**

*Аннотация.* Представлены результаты модернизации стадии совместной биологической очистки производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод на ФКП «Авангард». Показано, что замена в коридоре аэротенка металлических конструкций кассет на полипропиленовые увеличивает эффективность его работы и позволяет избежать вторичного загрязнения сточной воды продуктами коррозии. Модернизация привела к приросту массы