

**Вильсон Елена Владимировна**

Vilson E.V.

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State University of Civil Engineering

Доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Associate Professor of "Water Supply and Sanitation" Department

Кандидат технических наук / доцент

E-Mail: Elena\_V58@mail.ru

Водоснабжение и водоотведение

## **Исследования в области удаления восстановленных соединений серы из сточных вод**

### **Research in the field of removal of reduced sulfur compounds from wastewater**

**Аннотация:** В статье приводится обзор методов удаления восстановленных соединений серы из сточных вод как в процессе их транспортировки на очистные сооружения, так и используемых непосредственно на очистных сооружениях. Представлены результаты пилотных исследований снижения концентрации восстановленных соединений серы в сточных водах на стадии механической очистки реагентными методами. В качестве реагентов использован реагент окислитель - пероксид водорода и реагенты-осадители на базе марганца.

**The Abstract:** This article provides an overview of methods for removing reduced sulfur compounds from waste water transporting to the treatment plant as well as in waste waters used directly in treatment plants. The results of the pilot study - to decrease the reduced sulfur compounds concentration in wastewater at the stage of mechanical purification by reagent method are shown.. Hydrogen peroxide as well as precipitating agents based on manganese were used as the oxidizing reagents.

**Ключевые слова:** Сточные воды, сероводород, пероксид водорода, Atren-HS реагент на основе двуокиси марганца.

**Keywords:** Waste water, hydrogen sulfide, hydrogen peroxide, Atren HS-based reagent Manganese dioxide.

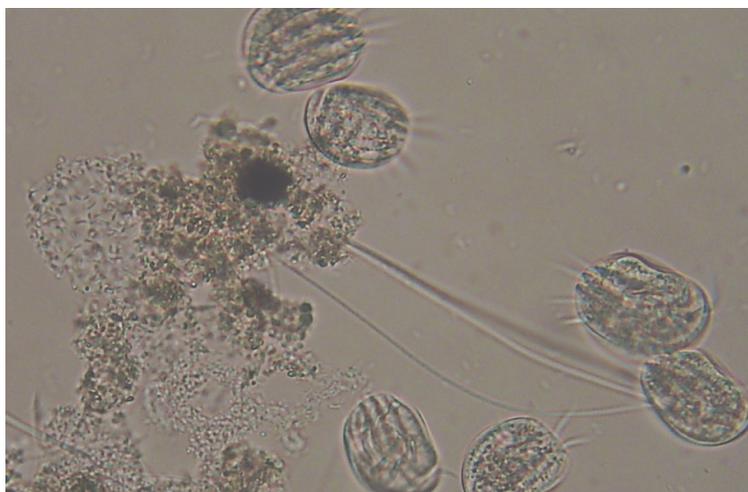
\*\*\*

В соответствие с правилами приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов предельно допустимая концентрация сероводорода в сточных водах, направляемых на биологическую очистку не должна превышать 1 мг/л. Сероводород – это одна из форм восстановленных соединений серы, которые в зависимости от pH среды представлены сероводородом, гидросульфидами и сульфидами. При pH < 10 содержанием ионов сульфида можно пренебречь, при pH=7 содержание H<sub>2</sub>S и HS<sup>-</sup> примерно одинаково, при pH=4 сероводород почти полностью (99.8%) находится в виде H<sub>2</sub>S. Ограничение концентрации восстановленных соединений серы в сточных водах, направляемых на биологическую очистку в аэробных условиях связано не только с их токсичным действием на микроорганизмы, но и с тем, что восстановленные соединения серы являются энергетическими донорами для аэробных бактерий рода Thiobacillus. Большинство Thiobacillus может окислять различные соединения серы, образуя в качестве конечного

продукта сульфат. Многие тиобациллы - облигатные хемолитоавтотрофы, фиксирующие CO<sub>2</sub>, но некоторые способны также использовать в качестве источников энергии и углерода органические соединения. В среде, в которой присутствует сероводород активно развиваются и нитчатые серобактерии [9]. Таким образом, в присутствии восстановленных соединений серы в сооружениях биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод развиваются конкурентноспособные в борьбе за поглощение растворенного кислорода микроорганизмы, что нарушает сбалансированный ход очистки, в частности может прекратиться процесс нитрификации и произойдет ухудшение качества очищенных сточных вод в целом. В настоящее время все чаще можно наблюдать превышение концентраций сероводорода в сточной воде, поступающей на очистные сооружения от населенного пункта. Как правило, это связано с высокой продолжительностью пребывания сточных вод в коллекторах, а так же с поступлением на очистные сооружения сточных вод от выгребов, которые имеются в не канализованных районах [3]. Так при биодеградации белка в анаэробных условиях коллекторов происходит поступление в очищаемую сточную воду серосодержащих соединений. Впервые, исследования по накоплению сероводорода в коллекторах были проведены еще в 60-х годах 20 века в Лос-Анджелесе. Результаты исследований американских ученых были подтверждены и в России в 90-х годах того же века (г. Новочеркасск) [10]. Сероводород в сточных водах – это и продукт бактериального восстановления серы сульфатов. Концентрация сульфатов в сточных водах, как правило, соответствуют концентрации в природных, естественно, повышение сульфатов в природных водах приводит и к росту сероводорода в сточных водах. В настоящее время отмечается устойчивая тенденция к повышению сульфатов в природных водоисточниках. Например, техногенное содержание сульфат-ионов в р. Дон за последние 60 лет возросло на 4,7 млн. тонн, концентрация сульфатов повысилась с 30 – 40 мг/л до 120 -160 мг/л. Дж. Андруз с коллегами отмечает, что эмиссии серы возросли примерно в 20 раз за последние 120 лет. Поток серы, выпадающий из атмосферы на поверхность суши, таким образом, увеличился на 163% . [2]. В сооружениях механической очистки сточных вод в отсутствие кислорода процесс сульфатредукции продолжается, и непосредственно на биологическую очистку сточные воды попадают с концентрацией восстановленных соединений серы от 4 до 70 мг/л. Так анализы хозяйственно-бытовых сточных вод станции Кущевская показали следующее: - в январе - марте 2012 г. при температуре исходных сточных вод 7–10<sup>0</sup>С и продолжительности пребывания сточных вод в коллекторах 10–20 часов содержание сульфидов и сероводорода в сточных водах составляло 3–5 мг/дм<sup>3</sup>; в апреле – июне при температуре исходных сточных вод 13–16<sup>0</sup>С, содержание сульфидов и сероводорода повышалось до 30–40 мг/дм<sup>3</sup>. Результаты наших наблюдений не противоречат и дополняют литературные данные, в соответствие с которыми концентрация сероводорода в канализационных коллекторах возрастает прямо пропорционально температуре транспортируемой сточной жидкости: так при 15<sup>0</sup>С концентрация сероводорода составляла в зависимости от БПК от 3,5 до 17 мг/л; при температуре 20<sup>0</sup>С – соответственно от 5,0 до 23 мг/л и при 25<sup>0</sup>С от 7 до 33 мг/л [3].

Наиболее чувствительны к наличию в сточных водах повышенных концентраций восстановленных соединений серы и к росту потребления кислорода очистные сооружения, использующие водоструйную систему аэрации, для которой необходимое количество кислорода на стадии проектирования определено без учета окисления сероводород. Наши наблюдения процесса очистки сточных вод на комбинированных сооружениях (КС) в станции Кущевская позволили установить, что при концентрации в исходных сточных водах восстановленных соединений серы более 15 мг/л, качество очищенной воды существенно снижается: очищенная вода приобретает серый оттенок, появляется опалесценция. Прозрачность очищенной воды по шрифту Снеллена составляет 6–8 см (при низких концентрациях сероводорода - 28 см). Содержание азота аммонийного при его исходной концентрации 75 мг/дм<sup>3</sup> в процессе биологической очистки в присутствие сероводорода в

концентрациях более 15 мг/л снижается только до 28 мг/дм<sup>3</sup>, то есть процесс нитрификации не протекает. Концентрация растворенного кислорода в аэротенке снизилась до значения менее 0,5 - 1 мг/л. При этом, следует отметить, что между концентрацией сероводорода в исходной сточной воде и концентрацией сульфатов в очищенной сточной существует положительная корреляция. Состояние активного ила в аэротенке также ухудшилось, он приобрел черный цвет, индикаторные простейшие, более чем бактерии чувствительные к недостатку аэрации практически исчезли. Изменились седиментационные свойства активного ила, что выражалось в повышении илового индекса до 160 – 200 см<sup>3</sup>/г. В аэротенке наблюдали явление вспенивания иловой массы, измельчение хлопьев ила, увеличение выноса взвешенных веществ с очищенной водой. Также было отмечено активное развитие брюхожесничных инфузорий *Aspidisca costata* (рис. 1), устойчивых к низкому содержанию кислорода. Микроскопирование пены показало наличие в ней серобактерий. При резком дефиците кислорода сера не окисляется, и остается в клетках. Серобактерии имеют специфический вид и хорошо микроскопируются (рис. 2).



**Рис. 1.** Брюхожесничные инфузории *Aspidisca costata*



**Рис. 2.** Серобактерии рода *Thiothrix*

Сотрудниками ООО «Никохим» (г. Волгоград) было установлено, что при поступлении в систему аэротенков сульфид-ионов в количествах свыше 10 мг/дм<sup>3</sup> в иловой смеси происходит снижение общей численности индикаторных групп микроорганизмов на 60 % от

контроля за шесть суток. При поступлении сульфид-ионов в количествах свыше 100 мг/дм<sup>3</sup> в иловой смеси снижение общей численности микроорганизмов на 60 % (от контроля) происходит за трое суток. В активном иле остаются только особи, являющиеся факультативными анаэробами, При этом не происходит приспособления аэробных организмов к меняющимся факторам окружающей среды, что связано с ограниченными мутабельными свойствами аэробной клетки [3].

Проблему высоких концентраций восстановленных соединений серы в городских сточных водах нельзя оставлять без внимания, так как не только ухудшаются условия биодegradации основных загрязняющих компонентов сточных вод, но и происходит нарушение водоотводящих систем [5]. Сероводород является весьма токсичным веществом. При его выделении в атмосферу (на промежуточных насосных станциях или при сбросе сточных вод) могут создаваться опасные концентрации, способные повлечь отравление населения. Мероприятия по предотвращению негативных влияний на процесс водоочистки повышенных концентраций сероводорода можно условно разделить на методы борьбы с сероводородом в канализационных коллекторах и непосредственно на очистных сооружениях.

Обширный обзор методов предотвращения образования сероводорода в трубопроводах проведен В.Я. Кофманом, он так же обращает внимание, что образование сероводорода в канализационной сети зависит от длины и диаметра канализационных труб, скорости потоков и общего времени пребывания канализационных стоков в трубопроводах. [6]. В.Я. Кофман отмечает, что существуют различные стратегии предотвращения образования сероводорода в канализационных сетях: - удаление биопленки (может осуществляться при механической чистке внутренней поверхности трубопроводов); - подавление активности анаэробных микроорганизмов; - осаждение из жидкой фазы в виде сульфидов уже образовавшегося сероводорода; - инъекция кислорода или воздуха (для предотвращения создания анаэробных условий и окисления сульфидов до сульфатов); - дозирование нитратов (увеличивается окислительно-восстановительный потенциал и подавляется процесс восстановления сульфатов и образования сероводорода. Также при добавлении нитратов несколько возрастает щелочность, что препятствует выделению сероводорода в атмосферу); - введение реагентов (хлориды Fe(II) и Fe(III), а также сульфаты Fe(II). Ионы Fe(II) образуют малорастворимый сульфид FeS. Ионы Fe(III) окисляют сероводород до элементарной серы, восстанавливаясь до Fe(II), что приводит к осаждению FeS) - регулирование величины рН. [6,11-13,15].

Среди методов, устраняющих негативные последствия наличия восстановленных соединений серы в сточных водах, непосредственно на очистных сооружениях можно выделить следующие: физические, реагентные и биологические. Количество методов, возможных и целесообразных для удаления восстановленных соединений серы из сточных вод по сравнению с количеством методов, используемых для природных вод ограничено. Например, нецелесообразно применять метод аэрации, который повсеместно используется при удалении сероводорода из природных вод, так как в атмосферу будет попадать большое количество микрофлоры, в том числе возможно и патогенной. В сточных водах до 80% восстановленных соединений серы представлено нелетучими формами, следовательно, после аэрации в сточной воде будет по-прежнему оставаться высокие концентрации серосодержащих соединений. Биохимическая очистка позволяет получить значительный экологический эффект, т.к. ее принцип основан на дублировании одного из этапов биологического круговорота серы в природе. Считается, что основную роль в биологическом круговороте серы играют две группы микроорганизмов: продуцирующие сероводород (к ним относятся гнилостные, сульфатредуцирующие и серовосстанавливающие бактерии) и окисляющие сероводород и неорганические соединения серы [7]. Имеется достаточно

обширная информация, определяющая параметры биодеструкции соединений серы, как иммобилизованной микрофлорой, так и активным илом. Основное требование, обуславливающее эффективность процесса – это достаточная концентрация растворенного кислорода [4]. Несомненно, биологические методы обработки имеют определенные преимущества перед химическими и физическими методами. Как правило, себестоимость очистки воды биохимическим методом ниже себестоимости ее очистки другими методами. Кроме того, при удалении  $H_2S$  из воды биохимическими методами исключается необходимость применения громоздкого реагентного хозяйства. Однако биологические методы очистки сточных вод от сероводорода можно считать целесообразными в технологических схемах обработки производственных сточных вод, для которых снижение концентрации сероводорода является приоритетным, однако, если сероводород находится в значительных концентрациях в сточных водах поступающих на городские очистные сооружения канализации, то следует значительно увеличить расход воздуха на очистных сооружениях или предусматривать биологическую предочистку [14].

Сущность *реагентных или химических методов* удаления из воды сероводорода заключается в добавлении к обрабатываемой воде химических реагентов, вступающих в реакцию с  $H_2S$ , в результате которой происходит его окисление до сульфатов или перевод его в менее активные соединения. В качестве реагентов при химической обработке сероводородных вод могут быть использованы: кислород, хлор и его производные, гидрат окиси железа и железо, пиролюзит, марганцовокислый калий, озон и перекись водорода. Однако не все перечисленные методы могут быть применены, так при добавлении в сероводородную воду хлора происходит окисление  $H_2S$  до свободной серы – при малых расходах хлора и до сульфатов – при больших его расходах. При этом образуются кислоты и ионы водорода, что приводит к заметному снижению pH обрабатываемой воды. Кроме того, при наличии в сточных водах аммиака он взаимодействует с хлором с образованием токсичных хлораминов, главным образом  $NH_2Cl$  (а также  $NHCl_2$ ,  $NCl_3$ ). Экологически чистым окислителем является озон  $O_3$ , [1]. В процессе озонирования происходят одновременное окисление примесей, обесцвечивание, дезодорация, обезвреживание сточной воды и насыщение ее кислородом. Этот метод можно рассматривать как перспективный для очистки городских сточных вод от восстановленных соединений серы, однако требующий совершенствования технологических приемов, позволяющих увеличить коэффициент использования озона и снизить энергозатраты.

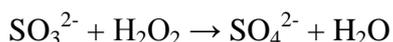
По отношению к сероводороду и сульфидам пероксид водорода является селективным окислителем. На сегодняшний день по сравнению с озоном пероксид водорода обладает рядом преимуществ: он хорошо растворим в воде, устойчив в растворе в широком диапазоне pH и температур. Остаточный пероксид водорода способствует процессам последующей аэробной биологической очистки и благоприятно сказывается на состоянии водных экосистем. В силу своих технологических преимуществ пероксид водорода получил широкое распространение в зарубежной практике очистки промышленных сточных вод [8]. Применение пероксида водорода в нашей стране для очистки сточных вод сдерживается его высокой стоимостью и дефицитностью. Однако этот метод можно рассматривать как перспективный при очистке сточных вод биологическими методами. Использование метода адсорбции сероводорода активированными углями целесообразно на этапе доочистки сточных вод, так как для реализации метода адсорбции из сточных вод необходимо удалить взвешенные вещества и органические, так как первые кальматируют межзерновое пространство загрузки, а органические соединения являются конкурентоспособными за обладание поверхностью сорбента, однако сероводород должен быть удален из сточных вод до биологической очистки, что делает невозможным использование активированных углей методом фильтрования. Возможно, целесообразным может оказаться использование

порошкообразных углей, но данных по этому способу в литературе не найдено.

Нами были проведены исследования по очистке вод от восстановленных соединений серы, в результате которых оценена эффективность использования с точки зрения технологической и экономической реагента - окислителя и реагента, связывающего серу в нерастворимое соединение.

### *Использование пероксида водорода*

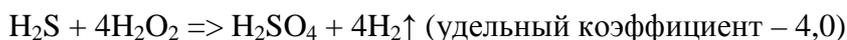
В первой серии опытов был использован пероксид водорода, который обладает рядом преимуществ: он хорошо растворим в воде, устойчив в растворе в широком диапазоне pH и температур, стабилен по сравнению с другими окислителями, сравнительной простотой аппаратного оформления процессов окисления, отсутствием токсичности, не требует дополнительной обработки воды после применения. Пероксид водорода является селективным окислителем по отношению к сероводороду и сульфидам и обладает химической инертностью по отношению к аммонийным соединениям, что чрезвычайно важно, так как в исходных сточных водах содержание азота аммонийного составляло около 70 – 80 мг/л. Эта селективность обусловлена относительно быстрым протеканием реакции окисления соединений серы (15 мин.). С помощью H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> могут быть также легко окислены меркаптаны (RSH):



Дополнительным положительным свойством пероксида водорода является резкое возрастание концентрации кислорода при его введении в обрабатываемую жидкость, что необходимо учитывать при выборе точки ввода реагента (в КНС или камеру смешения КС).

Определение концентрации восстановленных соединений серы в воде осуществлялось по общепринятой методике: корректировка pH до 4 и титрование.

Исходную дозу пероксида водорода определяли в соответствии со стехиометрическими соотношениями окислителя и восстановителя:



При добавлении раствора пероксида водорода в сточную воду наблюдали повышение концентрации растворенного кислорода от 0 до 8, что может привести к снижению концентрации органических загрязнений. Для проверки этого предположения были проведены дополнительные исследования. В четыре химических стакана емкостью 1 литр была помещена исходная сточная вода с концентрацией органических загрязняющих веществ по ХПК 299,4 мгО/дм<sup>3</sup> и восстановленных соединений серы (HS<sup>-</sup> + H<sub>2</sub>S) – 14,14 мг/дм<sup>3</sup>. В каждый из цилиндров было введен 3%-ный раствор H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Минимальная доза H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> определена по стехиометрическому соотношению коэффициентов соответствующих приведенных выше уравнениям реакций. При исходной концентрации (HS<sup>-</sup> + H<sub>2</sub>S) – 14,14 мг/дм<sup>3</sup> и с учетом того, что при значениях pH сточных вод равных 7,7 – 7,9 около 80 % восстановленных соединений серы приходится на гидросульфиды и 20 % на H<sub>2</sub>S, то расчетное количество пероксида водорода составит: для окисления гидросульфидов – от 5,7 до 29,4 мг/дм<sup>3</sup> (в зависимости от продукта окисления) и сероводорода – 1,4 мг/дм<sup>3</sup>. Общая расчетная доза составляет 30,8 мг/л. В результате исследований было установлено снижение ХПК. Результаты исследований представлены в табл. 1. Ведение пероксида водорода перед биологической очисткой привело

к стабильной работе аэротенка, качество очищенных сточных вод относительно базового варианта (без введения пероксида водорода) улучшилось и по показателям ХПК и БПК<sub>5</sub> достигло соответственно 30 мгО/дм<sup>3</sup> и 15 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Прозрачность надильной жидкости повысилась с 6 до 30 см (по шрифту Снеллена), Восстановились процессы нитрификации, что в частности можно связать с тем, что при предварительном удалении из сточных вод восстановленных соединений серы концентрация растворенного кислорода, которая до этого составляла 0,8 мг/дм<sup>3</sup>, возросла до 1,5 мг/дм<sup>3</sup>. Микроскопирование активного ила показало развитие различных инфузорий прикрепленных и свободноплавающих, а также коловраток (рис. 3). Остаточное содержание сульфидов и сероводорода в аэротенке составило 0,014 мг/дм<sup>3</sup> при концентрации в поступающей на очистку сточной воде 14,4 мг/дм<sup>3</sup>. Анализы проб на содержание сульфидов и сероводорода были выполнены ОАО «Производственное объединение Водоканал г.Ростова-на-Дону» по соответствующему нормативному документу ПНДФ 14.1:2.109-97.

Таблица 1

**Результаты лабораторных исследований по снижению восстановленных соединений серы и ХПК сточных вод окислителем H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**

**Содержание в исходных сточных водах: (HS<sup>-</sup> + H<sub>2</sub>S) – 14,14 мг/дм<sup>3</sup>;**

**ХПК = 299,4 мгО/дм<sup>3</sup>. Экспозиция – 15 мин.**

доза пероксида водорода, мг/дм <sup>3</sup>	HS <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> S в ст. вод после обработки, мгО/дм <sup>3</sup>	ХПК ст. вод после обработки, мгО/дм <sup>3</sup>
30	2,7	254,5
56	2,41	216,2
70	2,12	199,6
90	1,89	166,3



**Рис. 3.** Микроскопирование активного ила из аэротенка после удаления восстановленных соединений серы перед биологической очисткой

Анализ результатов применения пероксида водорода позволил сделать следующие выводы:

- пероксид водорода преимущественно окисляет (HS<sup>-</sup> + H<sub>2</sub>S);
- 1 мг пероксид водорода снижает 1,47 ХПК, мгО/л;
- в соответствие с полученными результатами окисления сероводорода и с учетом допустимого содержания восстановленных соединений серы в КС более 1 мг/л, можно определять необходимую дозу пероксида водорода (ДН<sub>2</sub>О<sub>2</sub>) по по

формуле:  $\text{DN}_2\text{O}_2 = \text{K}_{\text{HS}^-} \text{C}_{\text{HS}^-} + \text{K}_{\text{H}_2\text{S}} \text{C}_{\text{H}_2\text{S}}$  или  $\text{DN}_2\text{O}_2 = (2,6\text{C}_{\text{HS}^-} + 4 \text{C}_{\text{H}_2\text{S}})$ ;

- Следует отметить значительный расход пероксида водорода, например, для очистных сооружений ст. Кушевская Краснодарского края при очистке 800 м<sup>3</sup>/сут. требуется 2,33 л/сут. 35,5 % раствора пероксида водорода. Как было установлено, содержание ( $\text{HS}^- + \text{H}_2\text{S}$ ) более 1 мг/дм<sup>3</sup> наблюдается периодически (сброс сточных вод от септиков, перерыв в работе КНС, просачивание в коллектор сероводородных грунтовых вод), то пероксид водорода можно вводить также периодически.

### *Использование химических реагентов на основе марганца*

На втором этапе исследований для нейтрализации сероводорода сточных вод были апробированы реагенты Atren-HS (ТУ 2165-006-94296805-2008) и ЖС-7 (ТУ 2123-001-12650743-2003) производства фирмы Миррико. Оба реагента были разработаны для нефтяной промышленности. Являются нейтрализаторами сероводорода, защищают буровой раствор и буровое оборудование от агрессивного воздействия сероводорода. Позволяют эффективно нейтрализовать сероводород, нивелируя тем самым отрицательное воздействие газа на раствор, буровое оборудование, здоровье обслуживающего персонала и окружающую среду. Реагенты образуют при взаимодействии с сероводородом инертные нерастворимые, нетоксичные соединения. Обладают высокой эффективностью (1 кг реагента удаляет 0,68-0,78 кг сероводорода) [16].

Исследования проводили в июне – сентябре 2012 г. на очистных сооружениях канализации (ОСК) в ст. Кушевская. Пробы сточной воды отбирали из песколовки очистных сооружений канализации. Исходная концентрация восстановленных соединений серы (по  $\text{H}_2\text{S}$ ) составляла 42,5 мг/л. рН = 7,8- 8,1; температура сточных вод 25-27 °С. В процессе исследований был использован 1% раствор по техническому продукту. По  $\text{MnO}_2$  раствор имеет концентрацию 0,7% . Таким образом, в одном мл приготовленного раствора содержится 7 мг  $\text{MnO}_2$ . В соответствии с рекомендацией производителя реагентов 1 кг реагента удаляет 0,68-0,78 кг сероводорода, следовательно, для удаления 42,5 мг/л понадобится 62,5 мг/л. В соответствии с уравнением химической реакции:  $\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} = \text{MnS}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ , удельное количество оксида магния для окисления сероводорода составляет 1,3 г $\text{MnO}_2$  /г $\text{H}_2\text{S}$ . Следовательно доза реагента (Др) по техническому продукту (Дрт) составляет:  $\text{Дрт} = 1,86\text{C}_{\text{H}_2\text{S}}$ , мг/л.

Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты лабораторных исследований по удалению восстановленных соединений серы  
реагентами *Atren-HS* и *ЖС-7*

№ п/п	Др MnO <sub>2</sub> , мг/л для <i>Atren-HS</i> Др Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мг/л для <i>ЖС-7</i>	Продолжитель- ность контакта, мин.	C <sub>H2S</sub> в исход. воде, мг/л	C <sub>H2S</sub> в оч. воде, мг/л /Э, %	Примечание
<b><i>Atren-HS</i></b>					
1	140	10	42,5	28,9/ 32	
2	28	30,0		10,4/75,5	
3	28	40		8,8/79,3	(pH = 4,5)
4	70	10		18,4/56,7	
5	112	10		21,3/50,0	pH = 4,5
6	28	30	40,8	18,02/55,83	
7	28	60		13,26/67,5	
8	28	90		8,5/79,17	
9	28	180		4,08/90	
<b><i>ЖС-7</i></b>					
10	70	30	42,5	8,2/80,7	(pH =4,5)
11	70	30		17,2/59,5	(pH =7,9)
12	46,4	30	35,7	19,38/45,7	
13	46,4	60		14,96/58,1	
14	46,4	90		10,2/71,4	
15	46,4	120		6,8/81,0	

Анализ результатов исследований позволил сделать следующие выводы:

- оба реагента имеют одинаковую эффективность по снижению концентрации сероводорода;
- по данным исследования продолжительность контакта сточных вод с реагентом должна составлять не менее 40 мин (желательно в турбулентном режиме);
- 1 кг реагента удаляет 0,5 кг сероводорода при контакте 40 мин;
- целесообразность использования реагентов *Atren-HS* и *ЖС-7* должна быть определена в каждом конкретном случае с учетом остаточных концентраций марганца в сточных водах (требования к содержанию марганца в виде Mn<sup>2+</sup> в сточных водах, подаваемых на биологическую очистку — 30 мг/л).

*Автор приносит благодарность за содействие в организации эксперимента сотрудникам ГК "Миррико" и сотрудникам ОСК ст. Куцевская*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Асс Г.Ю. Очистка сбросных и минеральных вод бальнеолечебниц от сероводорода биохимическим методом//Химия и технология воды.-1983,т.5.-№1
2. Введение в химию окружающей среды /Андруз Дж., Бримблекумб П., Джикелз Т., Лисс П. –М.:Мир, 1999. -271 с.
3. Вильсон Е.В., Черникова Л.Ю. Использование пероксида водорода в системах очистки сточных вод/ Водамагазин №5,2009.- С.31 -32
4. Воронович Е.Е. Технология утилизации сульфидсодержащих сточных вод //http://www.newchemistry.ru/letter.
5. Зеленцов Л. Б. Камнева П. И. Анализ проблем жилищно-коммунального хозяйства региона (на примере Ростовской области) //Интернет-журнал «Науковедение». 2012 №3 (92) [Электронный ресурс].-М. 2012. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik6/4.pdf>, свободный – Загл. с экрана.
6. Кофман В.Я. Сероводород и метан в канализационных сетях//http://www.kofman.info/
7. Кузнецов С.М., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микро-организмов. М.: Наука, -1989.
8. Введение в экологическую химию //Ю.И.Скурлатов, Г.Г.Дука, А. Мизити. -М.: Высш.шк., 1994.- 400 с.
9. Шлегель Г. Общая микробиология. М.:Мир, 1972. -475 с.
10. Эммисия диоксида углерода в водном комплексе// Н.С. Серпокрылов, Е.В.Вильсон Г.Н. Земченко Мнгр. LAP LAMBERTAcademik Publishing Gmbh, 2012, 289 p
11. Effects of long-term pH elevation on the sulfate-reducing and methanogenic activities of anaerobic sewer biofilms// O.Gutierrez, D.Park, K.Shar, Z. Yuan//Water Research, 2009, 43 (9), 2549- 2557p
12. Optimization of intermittent simultaneous dosage of nitrite and hydrochloric acid to control sulfide and methane production in sewers// G.Jiang, O.Gutierrez, K.Sharma, R., J.Keller, Z.Yuan. Water Research, 2011, 45 (18), 6163-6172p.
13. Inhibition of sulfate-reducing and methganogenic activities of anaerobic sewer biofilms by ferric iron dosing// L.Zhang, J.Keller , Z.Yuan. Water Research, 2009, 43 (17), 4123-4132p.
14. <http://www.envirovirus.ru/>
15. <http://old.bstu.by/>
16. <http://www.mirrico.ru>

**Рецензент:** Марочкин Алексей Александрович, к.т.н., директор ООО «Акватрат».