

Биологическая очистка воды хлореллой неорганических веществ

**Коростелина Анастасия,
Нестеренко Анастасия,**

учащиеся 9-го класса МБОУ СОШ № 29, г. Воронеж

Руководители:

Беспалова О.А.,

педагог дополнительного образования МБУДО «Детский эколого-биологический центр «Росток», г. Воронеж

Головкина О.А.,

учитель химии МБОУ СОШ № 29, г. Воронеж

Введение

Население Санкт-Петербурга пьёт озонированную воду. А какую воду пьём мы, жители Воронежа? Качество её очистки беспокоит многих. Процесс очистки сточных вод трудоёмок, требует больших денежных затрат. Хлорированная вода по водопроводу загрязняется вторично ионами магния, железа, образуя рыжие подтеки на сантехнике. Потребитель снова платит, покупая бутилированную воду. Проблема усовершенствования очистки сточных вод должна быть направлена на модернизацию очистки сточных вод и решена на региональном уровне.

В 2015/2017 учебном годах занимались изучением хлореллы на базе детского эколого-биологического центра «Росток». Определили сорбционные свойства хлореллы, которая является антагонистом водорослей и не требует специальных температурных условий хранения. Применили хлореллу в очистке сточных вод от моющих веществ. В растворе хлореллы СМС выпали в осадок. Изменилось pH раствора. На уровне школьного химического оборудования невозможно определить состав выпавшего осадка.

Цель: исследовать биологическую очистку воды хлореллой неорганических веществ.

Задачи:

- изучить литературу по исследуемой теме;
- исследовать сорбцию солей железа хлореллой;
- проанализировать химические реакции окисления;
- сравнить качество эффективности очистки воды на модели искусственной водной экосистемы — аквариуме;
- проанализировать экологичность утилизации использованной хлореллы в почвенном грунте.

Методы экологического исследования: органолептический, химический эксперимент, моделирование.

Изучая научную литературу по данной теме, обнаружили, что много данных о применении хлореллы в реабилитации «цветущих» водоёмов. Научной информации по данной исследуемой теме мало, в основном издания литературы датируются прошлым веком. На биологических и медицинских сайтах много рекламной информации об уникальном составе и лечебных свойствах хлореллы на организм человека.

Суспензия хлореллы (*Chlorellavulgaris*) для исследовательской работы была предоставлена ООО НПО «Альгобиотехнология» г. Воронеж. Концентрация хлореллы в суспензии составляет 10 мг/л. Исследования проводили в 2017–2018 гг. на экспериментальной площадке детского эколого-биологического центра «Росток».

Литературный обзор

Методы очистки сточных вод классифицируются на механические, физико-химические, биохимические. Основная область применения физико-химических методов — очистка производственных сточных вод. Физико-химическая очистка удаляет из сточных вод тонкодисперсные и растворённые неорганические вещества, уничтожает трудно окисляемые и органические соединения. К методам данной очистки относят: адсорбцию, коагуляцию. Биологические методы очистки сточных вод основываются на жизнедеятельности микроорганизмов [6].

Виды сорбентов, применяемых для очистки сточных вод: синтетические сорбенты; активные угли (являются наиболее универсальными адсорбентами); производственные отходы (опилки, зола, шлаки);

минеральные сорбенты (силикагели, глины, кварцевый песок, мел, торф) [1].

Активный уголь — это пористый углеродный адсорбент с развитой внутренней поверхностью. Он содержит химически связанный кислород, который в зависимости от способа и условий получения угля образует поверхностные химические соединения основного или кислотного характера. Сорбционными свойствами обладают многие природные материалы [6].

Стоимость природных сорбентов в десятки раз ниже, чем искусственных, поэтому часто их не регенерируют. Обнаружено, что среди изученных волокнистых материалов наиболее технологичными являются прессованные полипропиленовые волокна [1].

В последнее время особо приоритетным является получение сравнительно дешёвых сорбционных материалов на базе отходов промышленности, поскольку при этом отходы используются вторично. Как углеродные сорбенты, могут использоваться резиновая крошка и шинный кокс, образующиеся после пиролиза отработанных покрышек [1].

Хлорелла — представитель отдела зеленых водорослей. Тип таллома — одноклеточный. Клеточная стенка целлюлозная. Шаровидная клетка хлореллы содержит одно ядро и чашевидный хроматофор. Глазка и сократительных вакуолей нет. Клеточная стенка наряду с целлюлозой содержит спорополленин — чрезвычайно устойчивое к действию ферментов вещество. Размножается хлорелла исключительно спорами (бесполое размножение), образующимися обычно по 4–8 в одной клетке и освобождающимся после разрыва её стенки [3].

Клетки штамма *Chlorellavulgaris* делятся в лабораторных условиях. Растут в водопроводной воде с добавлением обеднённой минеральной среды. Штамм хорошо растёт при использовании в питательной среде любых азотсодержащих минеральных солей. Для хлореллы характерны очень высокие темпы размножения [4].

В царстве растений хлорелла стоит на первом месте по очень многим показателям. Химический состав клетки по содержанию белков, незаменимых аминокислот, витаминов, набору микроэлементов, биологически активных веществ превосходит водные и наземные растения. В результате фотосинтеза большинство наземных и водных растений, в том числе и одноклеточная хламидомонада, усваивают 1–2%

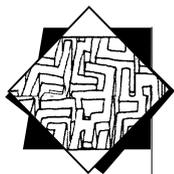
солнечной энергии, а хлорелла — рекордное количество солнечной энергии (до 12%) [3].

Хлорелла производится в лабораторных условиях и продаётся в виде суспензии или в гранулах. Преимущество штаммов хлореллы *Chlorellavulgaris* заключается не только в возможности сохранять бактериальную стерильность суспензии, но и её однородности, когда в культуре не могут развиваться не только прочие виды водорослей, но и другие штаммы хлореллы. Антагонизм этих штаммов к бактериям и вирусам настолько высок, что, попадая в культуру, они не способны выжить. В течение суток исходная клетка может дать до 64 дочерних клеток [3].

Современная очистка сточных вод методом адсорбции основана на том, что растворённые в них вещества адсорбируются на поверхности адсорбента. Адсорбция представляет собой процесс поглощения газов или паров поверхностью твёрдых тел (адсорбентов). Очистка сточных вод — это результат бактериальной деятельности. При этом необходимым условием является продувка воздухом и перемешивание для обогащения сточных вод кислородом, активного ила в аэротенках воздухом, из которого бактерии для своей жизнедеятельности поглощают кислород, а в окружающую среду выбрасывают углекислый газ. Углекислый газ — продукт жизнедеятельности бактерий — выделяется в воздух, т.е. ныне существующие очистные сооружения являются потребителями кислорода и загрязнителями воздуха углекислым газом. Бактериальная очистка, в санитарном отношении, не очищает, а стимулирует развитие патогенных микроорганизмов, вызывающих заболевания человека и животных. Биологическая особенность бактерий заключается в том, что они узко специализированы, т.е. нет одного вида бактерий, который мог бы очистить весь спектр веществ, находящихся в сточных водах [1].

Передовые биологические технологии предлагают способ очистки сточных вод с различной концентрацией загрязняющих веществ с помощью определённого штамма микроводорослей. Экологически это оправдано тем, что для своей жизнедеятельности водоросли потребляют углекислый газ и выделяют кислород [5].

Основным используемым методом очистки железа (II) является его окисление до нерастворимого гидроксида железа (III). В качестве окислителя используют: хлор, озон, перманганат калия. После



окисления добавляют коагулянты, отстаивают и фильтруют [5].

Окислять воду кислородом (аэрация) можно путём непосредственной подачи воздуха в водопроводную трубу под высоким давлением. Этот способ удаления железа подходит для воды с содержанием железа не выше 10 мг/л. В роли окислителя может выступать хлор, который также осуществляет дезинфекцию воды [2].

Наиболее энергозатратным, но весьма эффективным методом является озонирование. Осаждение нерастворимого гидроксида железа (III) происходит в нормальных условиях [6].

Главными источниками соединений железа в природных водах являются процессы химического выветривания и растворения горных пород, образуя минеральные соединения, находящиеся в воде в растворённом состоянии. Значительное количество железа поступает с подземным стоком и со сточными водами предприятий металлургической, текстильной, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками [5].

В подземных водах железо присутствует в основном в растворённом двухвалентном виде. Трёхвалентное железо при определённых условиях также может присутствовать в воде в растворённом виде — как в форме неорганических солей (сульфатов), так и в составе растворимых органических веществ [5].

Когда концентрация железа выше 40 мг/л, целесообразно применять биологические методы очистки воды. С этой целью в воду вводят бактерии, способствующие окислению железа. На конечном этапе такой очистки воду подвергают ультрафиолетовому облучению для уничтожения микроорганизмов, введённых туда искусственно. Главным недостатком этого метода является длительность очистки [2].

Практическая часть

Исследование № 1.

Определение кислорода

Материалы и оборудование: деревянная лучинка, спички.

Объект исследования: суспензия хлореллы.

Ход работы:

1. Открыли ёмкость (1,5 л пластиковую бутылку) суспензии хлореллы (1 л);
2. Быстро внесли тлеющую деревянную лучинку в открытую ёмкость;
3. Тлеющая лучинка загорелась;

4. Через минуту опыт повторили;

5. Закрыли ёмкость с хлореллой;

6. На следующий день опыт повторили.

Вывод: хлорелла в процессе фотосинтеза выделяет кислород — воспламеняется тлеющая лучинка. Через минуту тлеющая лучинка не загорелась, т.к. часть кислорода израсходовалась на горение, часть переходит в окружающую среду (в воздух). Концентрация кислорода в закрытой ёмкости хлореллы через сутки возобновляется — тлеющая лучинка воспламеняется.

Исследование № 2.

Биосорбция газообразного вещества

Материалы и оборудование: 2 пробирки, 2 резиновые пробки с газоотводными трубками, полиэтилен, канцелярские резинки, пипетка мерная.

Реактивы: водопроводная вода, хлорная вода.

Объект исследования: суспензия хлореллы.

Ход работы:

1. Налили раствор хлореллы 5 мл в пробирку и добавили пипеткой 2 мл хлорной воды;

2. В другую пробирку налили 5 мл водопроводной воды и добавили пипеткой 2 мл хлорной воды (вода-контроль);

3. Встряхнули пробирки. Закрыли резиновыми пробками с газоотводными трубками;

4. Определяли запах (при комнатной температуре);

5. Для чистоты эксперимента опыт провели 3 раза. Наблюдения заносили в таблицу № 1.

Вывод. В растворе суспензии хлореллы запах исчезает на 3-й день. Хлор с кислородом не взаимодействует. Следовательно, хлорелла сорбирует газообразный хлор. В воде-контроль запах хлора остался.

Исследование № 3.

Сорбция гидроксида железа (II) и его окисление

Материалы и оборудование: пробирки, пипетка мерная.

Реактивы: водопроводная вода, сульфат железа (II), гидроксид натрия.

Объект исследования: суспензия хлореллы.

Ход работы:

1. Налили в пробирку 7 мл сульфат железа (II) и добавили 1 мл гидроксид натрия;

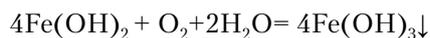
2. Раствор с полученным осадком гидроксидом железа (II) разлили пополам

в 2 пробирки. Затем добавили в одну пробирку 2 мл раствора хлореллы, в другую — 2 мл водопроводной воды (раствор — контроль);

3. Наблюдения заносили в таблицу № 2, делали фотоотчёт.

Вывод. На дно пробирки с хлореллой полученный осадок гидроксид железа (II) сразу сорбируется водорослью. Сорбция осадка гидроксида железа (II) в 12 раз быстрее, чем осаждение гидроксида железа (II) в растворе — контроль. Количество осадка гидроксида железа (II) в хлорелле уравнилось с количеством осадка в растворе — контроль через 12 часов.

Реакция окисления железа (+2) до гидроксида железа (III) сначала шла с кислородом воздуха — появление бурого цвета на верху раствора — контроль. Через 48 часов осадок на дне раствора — контроль окислился до гидроксида железа (III). Произошла химическая реакция окисления иона железа (+2):



Осадок гидроксида железа (II) серо-зелёного цвета в хлорелле не изменился — реакция окисления не происходила.

Исследование № 4.

Оценка эффективности качества очищенного хлореллой раствора воды на биологических объектах

Ход работы:

1. В ведро с очищенной хлореллой водой — 9 л, полученной аналогично предыдущему исследованию, продукты сорбции гидроксида железа (II) отфильтровали бумажным фильтром;

2. Запустили 3 особи гуппи и улиток. Животные выжили.

Вывод: сорбированная хлореллой вода пригодна для обитателей водной экосистемы.

Расчёт экономической эффективности затрат на выполнение проекта

Для использования штамма хлореллы (*Chlorellavulgaris*) не требуется реорганизации или капитального строительства новых очистных сооружений. Необходимо создать биофильтр на основе биосорбента — хлореллы и отстойник, где будет осуществляться биологическая очистка.

Для реализации данного проекта, потребовалось 2 л суспензии хлореллы для сорбции 8 л раствора гидроксида железа (II). Из расчёта того, что 1 л суспензии

хлореллы на рынке в среднем составляет 200 рублей за 1 л, затраты составили 400 рублей.

Результаты работы

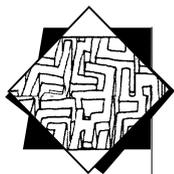
Штамму микроводоросли хлореллы (*Chlorellavulgaris*) не требуется реорганизации или капитального строительства новых очистных сооружений. Для очистки воды от гидроксида железа требуются минимальные затраты: необходимо создать биофильтр на основе биосорбента — хлореллы и отстойник, где будет осуществляться биологическая очистка. Экономически процесс очистки является одним из дорогостоящих процессов. Большинство известных методов имеют немало временных, денежных затрат и энергетических ресурсов для достижения высокого уровня очистки. Требуется дополнительная аэрация. Не все предприятия могут себе позволить качественную очистку, что и сопровождается образованием вторичного загрязнения.

Хлорелла выделяет кислород. Глеущая лучинка в воздухе тары, где хранится водоросль, воспламеняется. Концентрация кислорода в закрытой ёмкости хлореллы через сутки возобновляется — глеущая лучинка снова воспламеняется. Микроводоросль, выделяя кислород, подавляет рост анаэробных бактерий.

Хлор с кислородом не взаимодействует. Клеточная стенка хлореллы полностью сорбирует газообразный хлор за 3 дня. В воде — контроль запах остался. Допускаю погрешность времени измерения сорбции в этом исследовании из-за утечки хлора при открытии полиэтилена с газоотводной трубки.

Полученный осадок гидроксид железа (II) сразу сорбируется водорослью. Сорбция осадка гидроксида железа (II) в 12 раз быстрее, чем осаждение гидроксида железа (II) в растворе — контроль. Количество осадка гидроксида железа (II) в хлорелле уравнилось с количеством осадка в растворе — контроль через 12 часов.

Реакция окисления железа (+2) до гидроксида железа (III) в растворе произошла через 48 часов. Сначала шла реакция с кислородом воздуха — появление бурого цвета на верху раствора — контроль, затем окислился осадок на дне раствора. Появился запах железа. Осадок гидроксида железа (II) серо-зелёного цвета в хлорелле не изменился — реакция окисления не происходила. Хлорелла полностью сорбировала гидроксид железа (II).



В сорбированной хлореллой воде создали макет водной экосистемы. Гуппи выжили. Для реализации данного проекта, потребовалось 2 л суспензии хлореллы для сорбции 8 л раствора гидроксида железа (II). Из расчёта того, что 1 л суспензии хлореллы на рынке в среднем составляет 200 рублей за 1 л, затраты составили 400 рублей.

Перспективы работы

В дальнейшем планируем изучить влияние температуры на адсорбцию биосорбента хлореллы. Проверить гипотезу о возможности клеточной стенки хлореллы извлекать из раствора ионы тяжёлых металлов. Исследовать, насколько экологично утилизировать отработанную хлореллу в почве.

Практические рекомендации

Зелёная микроводоросль (хлорелла) является доминирующей микроводорослью, насыщая воду кислородом и удаляя из него излишки углекислого газа, сорбирует неорганические загрязнители. При этом уничтожается патогенная микрофлора. Для использования этого штамма не требуется реорганизации или капитального строительства новых очистных сооружений. Не требуется продувки воздухом и дополнительной аэрации сорбента.

Использование штамма хлореллы в очистке воды может стать инновационной технологией в модернизации сферы водопользования. Обеспечит восстановление водных природных биоценозов с привлечением самоочищающихся механизмов позволит изменить экологическую обстановку и создать надёжную систему оздоровления окружающей среды. ■

Литература

1. Журкин Н.Н., Алибеков С.Я. Усовершенствование механической очистки сточных вод / Н.Н. Журкин, С.Я. Алибеков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. — 2013. — № 1. — С. 17.
2. Гогина Е.С., Кулаков А.А. Разработка технологии модернизации сооружений искусственной биологической очистки сточных вод / Е.С. Гогина, А.А. Кулаков // Вестник МГСУ. — 2015. — № 11. — С. 34–38.
3. Мельников С.С. Хлорелла: физиологические активные вещества и их использование / С.С. Мельников, Е.Е. Мананкина. — Минск: Наука и техника, 1991. — 80 с.
4. Павлова М., Сурков В. Водоросли / М. Павлова, В. Сурков // Газета «Биология». — 2002. — № 10. — С. 12–18.
5. Исидоров В.А. Экологическая химия / В.А. Исидоров. — СПб.: Химиздат, 2001. — 304 с.
6. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. — М.: Высш. шк., 2004. — 122 с.

Приложение

Таблица 1

Сорбции газа в суспензии хлореллы

День исследования	Интенсивность запаха (хлора) в	
	хлорелле	растворе — контроль
1-й	5	5
2-й	2	5
3-й	0	4

Расшифровка баллов запаха: 0 — отсутствие запаха; 1 — очень слабый запах; 2 — слабый запах; 3 — запах легко обнаруживается; 4 — отчётливый запах; 5 — очень сильный запах.

Очистка воды от гидроксида железа хлореллой

Время исследования (часы)	Наблюдения	
	в хлорелле	в растворе – контроль
1/6 часа	Хлорелла, находящаяся на дне пробирки, сорбирует осадок гидроксида железа (II). Чётко видна фаза от сорбированного раствора	Образование вверху пробирки бурого гидроксида железа (III). В объёме всего раствора видны частицы серо-зелёного (болотного) осадка гидроксида железа (II)
1/3 часа	Визуально количество осадка гидроксида железа (II) в 3 раза меньше, чем в растворе – контроль	Увеличение бурого гидроксида железа (III) вверху раствора. Медленное осаждение гидроксида железа (II) на дно пробирки. В объёме раствора видны частицы серо-зелёного осадка гидроксида железа (II)
1 час	Визуально количество осадка гидроксида железа (II) в 3 раза меньше, чем в растворе – контроль	Увеличение бурого гидроксида железа (III) вверху раствора. Осаждение гидроксида железа (II) на дно пробирки
6 часов	Визуально количество осадка гидроксида железа (II) в 2 раза меньше, чем в растворе – контроль	Увеличение бурого гидроксида железа (III) вверху раствора. Осаждение гидроксида железа (II) на дно пробирки
12 часов	Количество осадка гидроксида железа (II) в хлорелле уравнилось с количеством осадка в растворе – контроль	Осаждение гидроксида железа (II) на дно пробирки. На верху пробирки появилась бурая плёнка гидроксида железа (III)
24 часа	Цвет сорбированного осадка не изменяется – серо-зелёный	Увеличилось количество гидроксида железа (III) вверху пробирки. На верху сорбированного осадка появляется бурый цвет
36 часов	Цвет сорбированного осадка не изменяется – серо-зелёный	Увеличение бурого осадка. Тёмно-зелёный осадок остался в глубине, на дне пробирки
48 часов	Цвет сорбированного осадка не изменяется – серо-зелёный	Осадок полностью стал бурым. Появился запах железа

Анализ работы

Изучая научную литературу по данной теме, обнаружили, что много данных о применении хлореллы в реабилитации «цветущих» водоёмов. Научной информации по данной исследуемой теме мало, в основном издания литературы датируются прошлым веком. На биологических и медицинских сайтах много рекламной информации об уникальном составе и лечебных свойствах хлореллы на организм человека.

Поэтому мы решили провести исследования по адсорбционным свойствам хлореллы.

Использование штамма хлореллы в очистке воды может стать инновационной технологией в модернизации сферы водопользования. Обеспечит восстановление водных природных биоценозов с привлечением самоочищающихся механизмов позволит изменить экологическую обстановку и создать надёжную систему оздоровления окружающей среды.