

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение»

(наименование кафедры)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Оценка влияния токсинов органического происхождения на
обработку природной воды

Студент

А.А. Матвеев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.А. Селезнев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

В.В. Петрова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

к.т.н., доцент, И.А. Лушкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Допустить к защите

И.о. заведующего кафедрой

к.т.н., доцент, И.А. Лушкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Тольятти 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1 Состояние источников поверхностного водоснабжения	5
1.1 Качество воды поверхностных источников водоснабжения.....	5
1.2 Характеристика основных микроорганизмов, обитающих в природной воде	10
1.3 Цианобактерии (сине-зеленые водоросли), их роль и опасность	16
1.4 Выводы по главе 1.....	19
Глава 2 Современные методы очистки воды от биологического загрязнения	21
2.1 Основные технологические схемы очистки воды поверхностных источников	21
2.2 Применяемые в России технологические схемы.....	33
2.3 Технология хлорирования.....	38
2.4 Технология ультрафиолетовой обработки воды	48
2.5 Технологии ультразвукового обеззараживания.....	58
2.6 Выводы по главе 2.....	68
3 Рекомендации по борьбе с загрязнением природных вод токсичными продуктами жизнедеятельности микроорганизмов.....	70
3.1 Анализ существующей технологической схемы водоочистки Автоградводоканал.	70
3.2 Рекомендации по очистке водоисточника.....	76
3.3 Выводы по главе 3.....	83
Список используемых источников.....	85

ВВЕДЕНИЕ

Очистка воды до качества пригодного для питьевых нужд, является одной из важных и трудных задач современности. С ростом городов растет потребность в воде. Помимо этого растет количество производств и их потребность в воде также растет и должна удовлетворяться.

В то же время, в последние десятилетия наука сделала огромный прорыв, в следствии чего появилось множество новых изобретений. Появились новые вещества и материалы, появилось множество новых производств, в сельском хозяйстве появились новые сорта растений и новые удобрения. Это все сильно увеличило воздействие на климат и природу в целом, и качество водоемов в отдельности. Водоемов, пригодных для добычи воды для хозяйственно-питьевых нужд становится все меньше. Кроме того наблюдается снижение качества воды как в поверхностных, так и в подземных источниках.

Не смотря на это, вода, пригодная для питья должна соответствовать требованиям по мутности, цветности, составу и количеству примесей и т.д.

Чтобы соответствовать этим требованиям вода на станциях водоподготовки проходит определенный процесс очистки. Как правило традиционная технология очистки включает реагентную обработку, отстаивание, фильтрование и осветление.

Однако не стоит забывать о том, что в результате деятельности человека могли появиться новые вещества, в том числе вредные для человека, в связи с чем нормативные документы должны постоянно обновляться.

Тема диссертации – Оценка влияния токсинов органического происхождения на обработку питьевой воды.

Цель – выбор метода очистки воды от токсинов органического происхождения.

Задачи: 1) Оценка существующих нормативных документов.

2) Анализ существующих технологий очистки природной воды из поверхностных источников.

3) Разработка технологической схемы по очистке природной воды от токсинов органического происхождения.

Научная новизна заключается в следующем:

- выполнении анализа существующих методов обработки природной воды и анализе их возможности к очистке воды от токсинов органического происхождения;

- в описании методов улучшения существующей технологической схемы обработки воды поверхностных источников;

- в разработке рекомендаций по снижению воздействия на поверхностные источники цианобактерий.

Практическая значимость заключается в разработке рекомендаций по улучшению действующей технологической схемы водоподготовки и рекомендаций по улучшению качества воды поверхностного водоемисточника.

Данная магистерская работа выполнена в соответствии с действующими нормативными документами и представляет собой данные по оценке влияния токсинов органического происхождения на качество обрабатываемой воды и процесс водоподготовки.

Структура и объем диссертации: научная работа состоит из введения, трех глав, выводов, библиографии из 35 источников. Полный объем диссертации 89 страницы машинописного текста, включая 31 иллюстрацию и 8 таблиц.

Глава 1 Состояние источников поверхностного водоснабжения

От выбранного источника водоснабжения напрямую зависит качество воды, получаемой потребителем. В настоящее время выбор источника централизованного водоснабжения осуществляется в соответствии с ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические и технические требования и правила выбора». Вышеуказанный ГОСТ в качестве основного критерия при выборе водоисточника выделяет санитарную надежность, под которой подразумевается защищенность от загрязнений.

Согласно нормативному документу, в первую очередь следует использовать межпластовые напорные артезианские воды. Лишь при недостаточности их запасов или полном отсутствии рекомендуется рассматривать другие источники водоснабжения в порядке снижения санитарной надежности: межпластовые безнапорные, грунтовые воды, поверхностные водоемы (реки, водохранилища, озера, каналы).

Из-за малого запаса подземных вод в практике часто используются поверхностные водоисточники, подверженные загрязнению за счет спуска хозяйственных, промышленных сточных вод и т.д.

По сравнению с подземными, поверхностный водоисточник является менее минерализованным, в нем больше количество взвешенных веществ, высока цветность и высокий уровень по микробному загрязнению.

Поэтому воды этих источников не отвечают требованиям, предъявляемым к воде питьевого назначения, в следствии чего, перед подачей в распределительную водопроводную сеть её необходимо подвергать обеззараживанию и дополнительной очистке.

1.1 Качество воды поверхностных источников водоснабжения

Вода, поступающая к потребителям по распределительной сети, должна соответствовать нормам и требованиям (быть обработана до питьевого качества), которые являются действующими по отношению к предназначенной для потребления человеком воде, даже в том случае, если непосредственно на питьевые цели расходуется лишь её малая часть.

Устраивать двойную сеть распределения, когда один водопровод предназначен для питьевой воды, а второй используется для воды пригодной исключительно на технические нужды, нецелесообразно с экономической точки зрения. При устройстве двойной сети необходимо понимать, что существует высокий риск ошибочных и перекрестных врезок.

Поэтому для обеспечения потребителя требуемым качеством воды, поэтому недопустимо, что бы хотя бы один из анализируемых показателей превышал нормы, действующие в России.

К источникам поверхностного водоснабжения, предъявляют определенные требования: сухой остаток менее 1000 мг/дм^3 (допускается повышать значение до 1500 мг/дм^3 в случаях, если принятое решение согласовано со службой санитарно-эпидемиологического надзора), концентрация хлоридов и сульфатов не превышает 350 и 500 мг/дм^3 , общая жесткость не должна превышать 7 моль/м^3 (значение допускается увеличивать до 10 моль/м^3 при согласовании с санитарно-эпидемиологической службой), наибольшая концентрация химических веществ не должна превышать предельно допустимой концентрации (ПДК) источников культурно-бытового и хозяйственно-питьевого водоснабжения и норм предъявляемых по радиационной безопасности.

Если в источнике водоснабжения имеются химические элементы, принадлежащие к 1-му и 2-му классам опасности и имеющие одинаковые по показателю вредности предельные нормы, то сумма отношения

концентрации каждого из веществ, которые были обнаружены в воде, к их предельно допустимой концентрации не должна превышать 1. Расчет проводится по формуле (1.1):

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \frac{C_3}{\text{ПДК}_3} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1, \quad (1.1)$$

где $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ – концентрация найденных веществ в мг/дм³.

По первоначальному состоянию водоисточника и состоянию воды в нём, степени водоочистки которая необходима для доведения воды до показателей, которые указаны в ГОСТ 2874 водные объекты, водоисточники подходящие в качестве источников водоснабжения для хозяйственно-питьевых нужд, подразделяются на 3 класса (таблица 1.1)»[1].

Таблица 1.1 – Показатели качества воды источника по классам

Показатель	Классы водоисточников		
	1	2	3
Мутность, мг/дм ³ , менее	20	1500	10000
Цветность, градусы, менее	35	120	200
Запах при 20 и 60 °С, баллы, менее	2	3	4
Водородный показатель (рН)	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Железо (Fe), мг/дм ³ , менее	1	3	5
Марганец (Mn), мг/дм ³ , менее	0,1	1,0	2,0
Фитопланктон:			
мг/дм ³ , менее	1	5	50
кл/см ³ , менее	1000	100000	100000
Окисляемость перманганатная, мгО/дм ³ , менее	7	15	20
БПК _{полное} , мгО/дм ³ , менее	3	5	7
Число лактозоположительных кишечных палочек в литре воды (ЛКП), менее	1000	10000	50000

Количество одноклеточных определяется в кл / см³, нитчатых и плёнчатых - в мг / дм³.

Безопасность воды, которая предназначена для хозяйственно-питьевого водоснабжения, в эпидемическом отношении по паразитологическим и микробиологическим показателям устанавливается ее соответствием требованиям, описанными в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Требования, предъявляемые к качеству воды питьевого назначения [2]

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Общее микробное число	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50
Цисты лямблий	Количество цист в 50 л	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	количество спор в 20 мл	Отсутствие

В каждой взятой пробе при изучении микробиологической характеристики питьевой воды определяется количество термотолерантных колиформных бактерий, общих колиформных бактерий, колифагов и общее микробное число.

При наличии в отобранной пробе перечисленных выше микроорганизмов в экстренном порядке их наличие определяется повторно, во вновь отобранных пробах воды. В таких случаях параллельно берутся пробы для исследования на наличие в них хлоридов, нитратов, нитритов и аммонийного азота для обнаружения причин загрязнения.

При нахождении в повторно взятых пробах данных микроорганизмов в количестве более 2 на 100мл проводится исследование, при котором определяется наличие являющихся патогенными энтеровирусов и/или

бактерий кишечных групп.

«Анализы воды на присутствие в ней болезнетворных микроорганизмов могут проводиться только в специально оборудованных лабораториях, обладающих санитарно-эпидемиологическим заключением, говорящим о соответствии рабочих условий санитарным нормам и правилам, а также лицензию разрешающую деятельность, имеющую отношение к использованию возбудителей инфекционных заболеваний»[3].

Частота отбора и количество проб воды для мониторинга качества воды непосредственно в местах производства водозабора, которые отбираются для изучения в лабораториях, производятся с учетом требований, указанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Количество и периодичность проб воды по различным видам показателей

Виды показателей	Количество проб в течение одного года, не менее	
	Для подземных источников	Для поверхностных источников
Микробиологические	4 (по сезонам года)	12 (ежемесячно)
Паразитологические	не проводятся	-"-
Органолептические	4 (по сезонам года)	12 (ежемесячно)
Обобщенные показатели	-"-	-"-
Неорганические и органические вещества	1	4 (по сезонам года)
Радиологические	1	1

Виды показателей, которые определяются для питьевой воды перед ее поступлением в сеть распределения, и количество проб отбираемых для исследований осуществляются с учетом требований, описанных в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Показатели, количество и периодичность отбора проб воды

Виды показателей	Количество проб в течение одного года, не менее				
	Для подземных источников	Для поверхностных источников			
	Численность населения, обеспечиваемого водой из данной системы водоснабжения, тыс. чел.				
	до 20	20-100	свыше 100	до 100	свыше 100
Микробиологические	50	150	365	365	365
Паразитологические	не проводятся			12	12
Органолептические	50	150	365	365	365
Обобщенные показатели	4	6	12	12	24
Неорганические и органические вещества	1	1	1	4	12
Показатели, связанные с технологией водоподготовки	Остаточный хлор, остаточный озон - не реже одного раза в час, остальные реагенты не реже одного раза в смену				
Радиологические	1	1	1	1	1

Основной задачей исследований бактериологических показателей, по которым оцениваются свойства любых вод, является гигиеническая оценка состояния воды по эпидемиологической безопасности. Санитарно-бактериологический анализ, проводимый с целью изучения качества обрабатываемой воды, заключается в:

1) выявление общего числа бактерий или «микробного числа» (подсчёт количества колоний микроорганизмов, которые образуются при температуре в $37 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в течении суток ± 2 часа при посеве одного миллилитра изучаемой воды в стандартную питательную среду);

2) коли индекс или коли-титр.

«Общее число микроорганизмов — это общее количество аэробных, факультативно анаэробных и мезофильных микробов, которые видны при двукратном увеличении и имеют способность формировать колонии на

питательной среде при температуре +37 °С в течение суток» [4]

При подсчётах числа микроорганизмов могут быть использованы и бактериологический, и микроскопический метод.

В последней европейской директиве закреплены несколько параметрических величин (ввод части из которых в действие распределен по времени). Они определяются по критериям влияния на здоровье человека, по образцу рекомендаций Всемирной ассоциации здравоохранения. Если сравнивать с первоначальной директивой, видно что некоторые показатели исключены, часть показателей была изменена в сторону ужесточения (Pb, Sb, Ni, As, полициклические ароматические углеводороды и т.д.), часть показателей была введена в первый раз (акриламид, Ва, В, броматы, бензол, метаболиты пестицидов, тригалогенметаны и др.; во Франции к ним добавили микроцистин — токсин водорослей и хлориты [5].

Также в этой директиве в первый было четко прописано, что данные нормы должны быть соблюдены и в воде, которая вытекает из крана потребителя. Следовательно, не допускается ухудшение качества воды при ее прохождении по распределительной сети от станции водоподготовки до потребителя.

В настоящее время в России в нормативных документах подобные требования не оговорены.

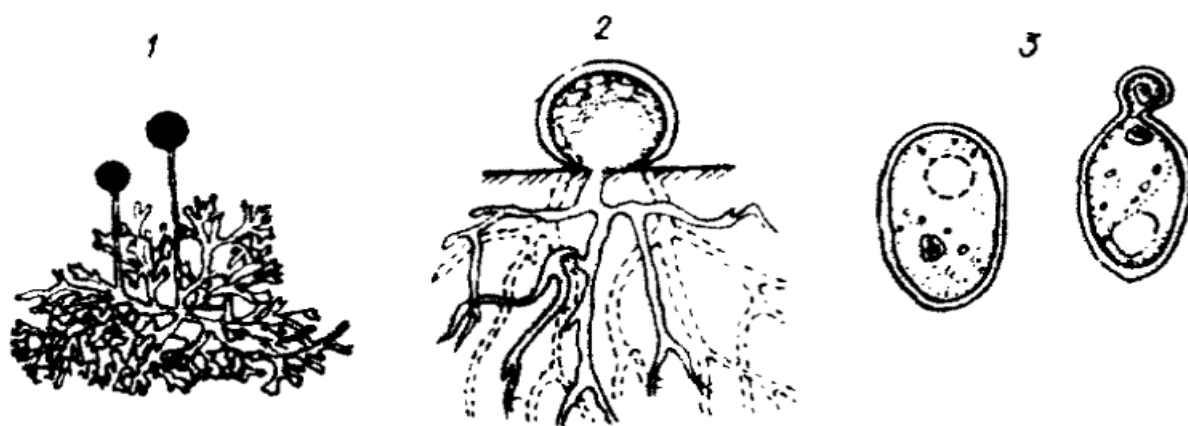
1.2 Характеристика основных микроорганизмов, обитающих в природной воде

Вода представляет собой естественное место для обитания микроорганизмов. Микробы живут и умирают в ней. Они попадают в воду со стоками и пылью, в связи с чем их концентрация уменьшается по мере удаления от берега.

Микробы обитают в любой воде, однако вода ледников считается

практически стерильной, вода в скважинах считается чище поверхностной.

Нормальная обычная микрофлора воды представлена сапрофитами, которые представлены псевдомонасами, микрококками (до 80% всех аэробных сапрофитных микроорганизмов), желе- и серозобактериями, дрожжеподобными и мицелиальными грибами из родов *Mucor* и *Fusarium*, простейшими, микроскопическими водорослями, зообетосом и зоопланктоном, фагами, актиномицетами и другими микроорганизмам.



1 – *Mucormucedo*; 2 – водный фикомицет; 3 – дрожжи [12]

Рисунок 1.1 – Грибы

Помимо выше указанных микроорганизмов, возможно попадание в воду, сохранение и размножение возбудители инфекционных болезней. Вода в открытых водоемах загрязняется патогенными микробами в результате попадания в них неочищенных сточных вод ветеринарных и инфекционных лечебниц, канализационных вод. В водной размножаются возбудители холеры и длительное время в воде могут сохраняться возбудители дизентерии, брюшного тифа, энтеровирусы, лептоспиры и др.



1 – микрококки; 2 – диплококки; 3 – стрептококки; 4 – тетракокки; 5 – сарционы; 6 – стафилококки; 7 – палочки; 8 – вибрионы; 9 – спираиллы; 10 – спирохеты [12]

Рисунок 1.2 – Морфологические типы бактерий

Для поиска путей борьбы с микробиорлогическими отложениями в системах водоснабжения, необходимо иметь представление о том, что такое микроорганизмы и каковы наиболее благоприятные условия для их развития [6].

Во внешней среде для поддержания их деятельности, роста и размножения организмы ищут необходимые субстанции, которые иначе называются основными метаболитами.

Всем живым существам вода необходима не только как главная составляющая основа, но и как благоприятная среда для переноса продуктов питания и функционирования пищевых цепочек.

Все живые существа по способу питания возможно разбить на две группы: автотрофы и гетеротрофы (рисунок 1.3).

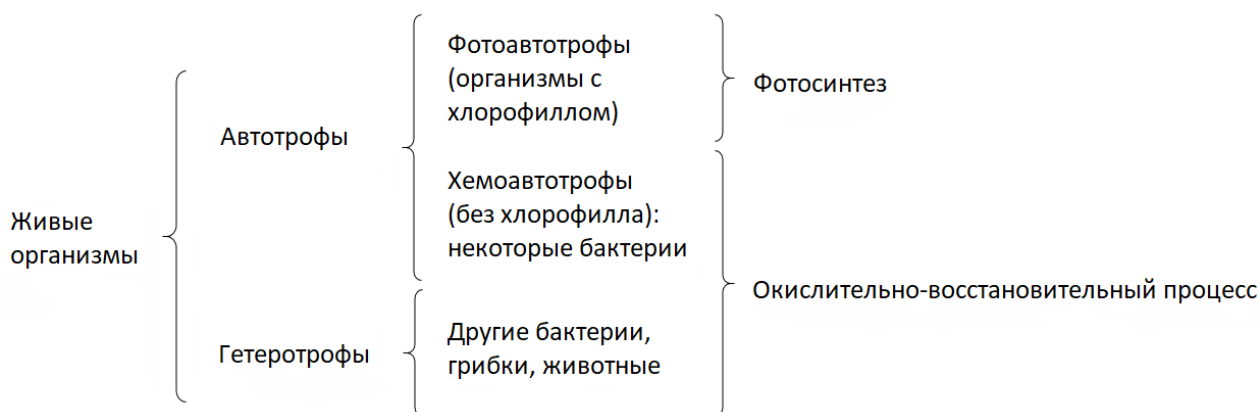


Рисунок 1.3 – Классификация живых организмов по способам питания

Гетеротрофные организмы способны использовать исключительно органическими веществами, которые были ранее произведены в результате деятельности других гетеротрофов или автотрофов, вследствие чего и появляется понятие о пищевой цепи.

В себя гетеротрофы включают все нехлорофилловые организмы: грибы, бактерии (за исключением хемоавтотрофов), животные.

Требующиеся для метаболизма ферменты, могут быть выброшены во внешнюю среду, для того, чтобы размельчать, разбивая там слишком большие молекулы, для их проникновения сквозь клеточные оболочки или быть непосредственно внутри самой клетки.

В зависимости от типов дыхания или используемом при этом ферменте акцептором водорода, требующимся для реакций окисления процесса катаболизма, является либо кислород в свободной форме в аэробной среде (бактерии активного ила), либо кислород находящийся в аноксидной среде. Кислород находящийся в аноксидной среде, является связанным в таких минеральных соединениях, как органические соединения находящиеся в анаэробной среде (пример – метановые бактерии), или восстанавливаемые в H_2S и серу сульфоредактирующими бактериями сульфаты, или восстанавливаемые в газообразный азот при помощи бактерий денитрификации нитраты.

В аэробных реакциях когда процесс протекает в аэробной фазе конечными продуктами получаются CO₂ и H₂O, CO₂ и CH₄ — при протекании процесса в анаэробной фазе.

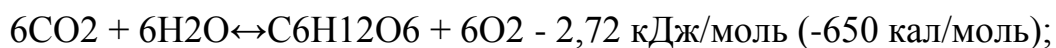
Наряду с исключительно аэробными или анаэробными бактериями также существуют другие, факультативные анаэробные бактерии, катаболизм которых зависит от окружающих физико-химических условий.

Автотрофные организмы могут осуществлять производство своих основных метаболитов, потребляя и перерабатывая неорганический углерод (HCO₃⁻, CO₂) и в том числе метан, для синтеза углеводов, при помощи добавления некоторые минеральных солей, таких как: нитратный или аммиачный азот, микроэлементы, входящие в состав РНК и АТФ фосфаты и др. Энергия, необходимая для прохождения данного процесса, может быть получена из двух источников следующего происхождения:

— химическая энергия, которая получается из окислительно-восстановительного процесса химических реакций хемоавтотрофами;

— солнечная энергия, применяемая с помощью пигментов-хлорофиллов организмов фотоавтотрофов (некоторые из редких фотосинтезирующих бактерий, водоросли, водные растения); комплексные реакции данной ассимиляции происходящие с помощью хлорофилла,

называемой фотосинтезом, происходящие как реакции образования молекулы глюкозы:



. Для обработки воды многие хемоавтотрофные бактерии крайне важны, в частности:

- нитрифицирующие бактерии: род *Nitrosomonas*, бактерии которого окисляют аммоний до нитритов, и рода *Nitrobacter*, бактерии которого переводят нитриты в нитраты;

- некоторые из ферро и марганцевых бактерий, которые способны

окислять ионы марганца и железа в гидроксиды и оксиды марганца и железа;
- сульфобактерии (или сульфатобактерии), окисляющие часть восстановленных форм серы в свободную коллоидную (из группы *Beggiatoa-Thiothrix*) или в серную кислоту (из групп *Thiobacillus*).

Множество этих бактерий зачастую аэробны, за исключением нескольких видов, которые живут в анаэробной среде (некоторые метановые в процессах метанового сбраживания и уксусно-кислые бактерии) [5].

Отношения бактерий и окружающей среды

Скорость размножения бактерий зависит от скорости с которой переносятся питательные вещества сквозь оболочку цитоплазмы. Она зависит от температуры среды (от этого зависит скорость диффузии субстрата), от концентрации в среде питательных веществ, от соотношения объема и поверхности. Стоит учитывать, что ввиду крохотного размера (от десятых миллиметра до нескольких микрон) это соотношение у бактерий выше, чем у всех прочих организмов, это объясняет то, что в весьма благоприятных условиях возможно увидеть клеточное деление в течение менее чем получаса.

Бактерии живут исключительно в среде, соответствующей определенным условиям: величине рН, содержанию питательных веществ, уровню солесодержания, температуре и величине окислительно-восстановительного потенциала. Наиболее благоприятный окислительно-восстановительный потенциал может отличаться, в зависимости условий работы (в аэробных или в анаэробных). Данные условия крайне тесно связаны с составом выделяемых бактериями ферментов. Могут вызвать селекцию видов значительные изменения в условиях и характеристиках среды.

В зависимости от оптимальной температуры бактерии для своих ферментов можно условно разделить на термофильные (температура выше

50 °С), мезофильные (температура близка к 30 °С), психрофильные (от 0 до 15 °С) и криофильные (от -5 до 0 °С).

Часть видов бактерий способна образовывать споры — клетки с замедленной жизнью и позволяющей лучше переносит сложные условия структурой. При хороших условиях, споры прорастают и вновь порождают активные бактерии.

Целая популяция бактерий способна адаптироваться селекционным путем и путем мутации при медленном изменении состава субстрата, которым питается данная популяция.

Водные микроорганизмы в обработке природной воды

Существует целый комплекс приспособленных к жизни в воде организмов. Данные организмы составляют водную фауну и флору (бактериальную и растительную). Каждый отдельный организм играет определённую роль в удержании сложного равновесия, которое складывается в водных экосистемах, где уживаются продуценты (автотрофы) и потребители органики (гетеротрофы). При загрязнении воды биогенными веществами усиленное размножение водорослей может причинить существенный вред ее потребителям. В частности, при сочетании благоприятных условий водоросли и водные растения путем фотосинтеза создают из простых питательных веществ (С, N, Р) большую массу органики, при этом активизируя все пищевые цепи и влияя на качество воды водоисточник.

1.3 Цианобактерии (сине-зеленые водоросли), их роль и опасность

Цианобактерии (лат. Cyanobacteria) (от греч. Κυανος — «голубой» и βακτήριον — «палочка») — тип бактерий, получающих всю необходимую им энергию по средствам фотосинтеза. Ссылаясь на внешний вид и экологическую нишу этих организмов, их также иногда называют сине-

зелеными водорослями, однако в последнее время термин сине-зеленые водоросли обычно ограничивается понятием о представителях эукариотической группы. Предполагается, что цианобактерии одни из древнейших существ на земле, их возраст около трех миллионов лет. Предполагается, что именно из-за них произошло изменение земной атмосферы.

Сине-зеленые водоросли окрашенные преимущественно в голубовато-зеленый цвет, в экстремальных условиях чаще имеют окраску с различными оттенками красного цвета. Зеленого оттенка клеткам предоставляет хлорофилл «а». Красный или голубой цвет обусловлен наличием значительного количества фикобилиновых пигментов — фикоцианина, алофикоцианину (синие пигменты) и фикозеритрина (красный пигмент). Каротиноиды представлены только β -каротином, ксантофил лютеиновой цикла (лютеин и зеаксантин) и специфическими ксантофил сине-зеленх водорослей — преимущественно осцилоксантином, миксоксантином, афаницином и афанизофилом. Почти во всех цианобактерий основным продуктом ассимиляции является гликогеноподобный полисахарид — крахмал сине-зеленых водорослей. Кроме углеводов, большинство сине-зеленых водорослей запасает также цианофицин и волютин.

Цианобактерии включают различные формы организмов: одноклеточные, колониальные и нитчатые. Размер клеток варьируется от десятых до нескольких микрометров. Существует зимующая вариация, отличающаяся особо толстыми стенками клетки.

Их цвет может варьироваться от яркого зеленого до темного синего в зависимости от света в зависимости от отношения состояния фотосинтетического пигмента к спектральному составу света.

В последние годы наблюдается увеличение продолжительности цветения водоемов. Данное явление несет множество негативных

последствий: усиление нагрузки на сооружения поверхностного водозабора, массовая гибель водной флоры и фауны, отравление людей и домашнего скота.

В теплый период года при достижении комфортной температуры воды сине-зеленые водоросли (цианобактерии) начинают процесс активного размножения. При этом снижаются органолептические показатели воды (цветность, мутность, запах). Большие скопления водорослей при попадании в очистные сооружения приводят к быстрому засорению фильтров, из-за чего требуется более частая промывка. Для достижения требуемого качества воды на водозаборах увеличивают количество реактивов, применяемых для очистки воды.

Большие скопления цианобактерий образуют на поверхности воды плотную пленку, препятствующую проникновению в воду солнечной радиации и кислорода. Это позволяет сине-зеленым водорослям постепенно вытеснять из экосистемы другие виды микроорганизмов.

Кроме того многие из представителей цианобактерий токсичны. В зависимости от действия данные токсины делят на:

- нейротоксины: являются алкалоидами, вырабатываемые родами *Anabaena*, *Aphanizotepop*, *Oscillatoria* и др. Наиболее распространенные и известные это anatoxin-a и anatoxin-a(s), а также saxitoxin и неосакситоксин. Последние, кроме того, являются основными токсинами, выделяемыми морскими водорослями *Dinoflagellata*; данные токсины оказывают негативное воздействие на нервную систему и способны вызвать быструю смерть, от паралича дыхательной и сердечной мускулатуры;

- гепатоксины: вырабатываемые различными синезелеными водорослями (*Microcystis*, *Nodulana*, *Anabaena*, *Oscillatoria* и т.п.) циклические полипептиды, названия все токсинов образованы от водорослей, из которых они извлечены: [микроцистин, нодулярин]. В зависимости от

дозы полученной человеком, нейротоксины могут вызвать уничтожение гепатоцитов с тромбообразованием (смерть в течении пары часов), расстройство работы печени (смерть спустя несколько дней), или, через длительный срок возможен рак печени.

- токсины поражающие кожу и слизистые - острые дерматиты и конъюнктивиты у купальщиков;.

Кроме того токсичными являются некоторые продукты разложения мертвых организмов. При большой концентрации данных токсинов в водоеме наблюдается массовая смерть рыбы, и других водных организмов. Данные токсины оказывают влияние на дыхательную и сердечную систему млекопитающих, негативно влияют на работу печени, вызывают раздражение слизистых и кожи. По всему миру ежегодно регистрируются случаи отравления людей и домашнего скота при употреблении зараженной воды или водных организмов.

В настоящее время ПДК на содержание токсинов цианобактерий в России не регламентируется. Основным методом борьбы с сине-зелеными водорослями на данный момент считается создание для них неблагоприятных условий обитания и заселения в проблемные водоемы потребляющих водоросли организмов.

1.4 Выводы по главе 1

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что в настоящее время биологическое загрязнение поверхностных вод не воспринимается, как первоочередная проблема при обработке природной воды.

При анализе существующих отечественных нормативных документов было выявлено, что в них содержатся только нормы только на фитопланктон и патогенные бактерии. При проверке качества воды учитываются далеко не все показатели, часто ПДК увеличивают на местном уровне. В нормативных

документах нет норм на содержание в воде токсинов, вырабатываемых цианобактериями, такими как микроцистин, неодолярин и т.д. При этом данная проблема была достаточно давно поднята за рубежом. Всемирная организация здравоохранения давно имеет рекомендованные ПДК на микроцистин. Это было вызвано зарегистрированными случаями отравления токсинами по всему миру. Однако даже за рубежом нет ПДК на прочие токсины. Это обусловлено тем, что микроцистин является одним из наиболее опасных и наиболее распространенных токсинов.

Анализ литературных источников показывает, что в научном мире проблема токсичного цветения водоемов встает все острее. Встает вопрос опасности и необходимости цианобактерий. Эти древние организмы являются продуцентами кислорода, однако в период массового цветения данные бактерии представляют опасность для других организмов в том числе и для людей. В период активного размножения сине-зеленых водорослей в связи с увеличением количества органического загрязнения вода может не соответствовать требуемому качеству.

Данная проблема может быть связана как с возрастающей нагрузкой на сооружения водоочистки, так и с устаревшими или неэффективными технологиями водоочистки. Это влечет за собой необходимость изучения современных методов борьбы с биологическими загрязнениями и оценки их эффективности.

Глава 2 Современные методы очистки воды от биологического загрязнения

2.1 Основные технологические схемы по очистке воды из поверхностных источников

Очистка воды охватывает проблемы разного спектра изменений в процессе водоподготовки для получения качества жидкости пригодного для питья. При этом рассматривается процесс очистки и предотвращения свойств воды, нежелательных для потребителя, а так же дополнение её естественных природных свойств по средствам обогащения дефицитными микро и макроэлементами. Исходя из всего выше сказанного, правильнее будет рассматривать обработку воды, как процесс улучшений абсолютно всех её качеств.

Питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Качество питьевой воды должно соответствовать гигиеническим нормативам перед ее поступлением в распределительную сеть, а также в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети.

Безопасность питьевой воды в эпидемическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям с учетом регламентируемых требований СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [2].

Для воды из естественных источников водоснабжения должна проводиться предварительная подготовка (обеззараживание и очистка). Основные методы очистки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения:

- улучшение органолептических свойств: (дезодорация, осветление, обесцвечивание);
- обеспечить полную эпидемиологическую безопасность (ультразвуковое обеззараживание, хлорирование, ультрафиолетовая радиация, озонирование,);
- кондиционировать минеральный состав (обезжелезивание, фторирование, обессоливание и умягчение) [7]

Осветление воды – это процесс удаления из нее большинства взвешенных веществ (таблица 2.1 и рисунок 2.1). Для обесцвечивания применяются такие методы как фильтрование в различных установках (сквозь зернистый, порошкообразный материалы, ткани или сетки), центрифугирование в гидроциклонах, отстаивание с применением коагуляции. Коагулирование производится при помощи использования химических веществ – сорбентов, В качестве сорбентов могут выступать: хлор, озон, активный уголь, перманганат калия и другие вещества.

При обесцвечивании из воды удаляются взвешенные и растворенные вещества в связи с чем повышается ее прозрачность.

Максимальное
содержание
взвешенных
веществ
↓

	Технология	Реагенты	
		1-я ступень	2-я ступень
100г/л	Отстаивание в две ступени 1. Грязеотделитель ¹ 2. Статический отстойник со скребками	Анионный полимер	Минеральный коагулянт (+ флокулянт) и/или органический (катионный) ²
30г/л			
10г/л	Отстаивание в две ступени 1. Грязеотделитель ¹ 2. Контактный отстойник со слоем осадка и/или пластинчатый отстойник	Катионный полимер	Минеральный коагулянт (+ флокулянт при необходимости)
5г/л	Статический отстойник со скребками		
	или грязеотделитель ¹ + контактный отстойник со слоем осадка и/или пластинчатый отстойник		
1г/л	1.5г/л (Возможно двухслойное отстаивание)	Минеральный коагулянт [соли Al(III), Fe(III)] и/или органический коагулянт ² (катионный полимер) + флокулянт (полиэлектролит анионный или катионный, альгенат, активный кремнезём)	
100мг/л	Отстаивание в одну ступень в отстойнике со взвешенным слоем осадка ³		
10мг/л	25мг/л Коагуляция на двухслойном фильтре или двойная фильтрация ⁴		
1мг/л	10мг/л Коагуляция на песчаном фильтре		

¹ Песколовка размещается перед фильтром это происходит когда концентрация взвешенных частиц размером 150мкм

² В том случае когда данный продукт разрешён к применению

³ Песколовка, задерживает частицы у которых размер более 100мкм

⁴ В некоторых условиях концентрация взвешенных веществ до 100мг/л к ним применяется двойная фильтрация

Рисунок 2.1 – Схема способов осветления при незначительном присутствии водорослей и цветности в технологических линиях обработки питьевой воды

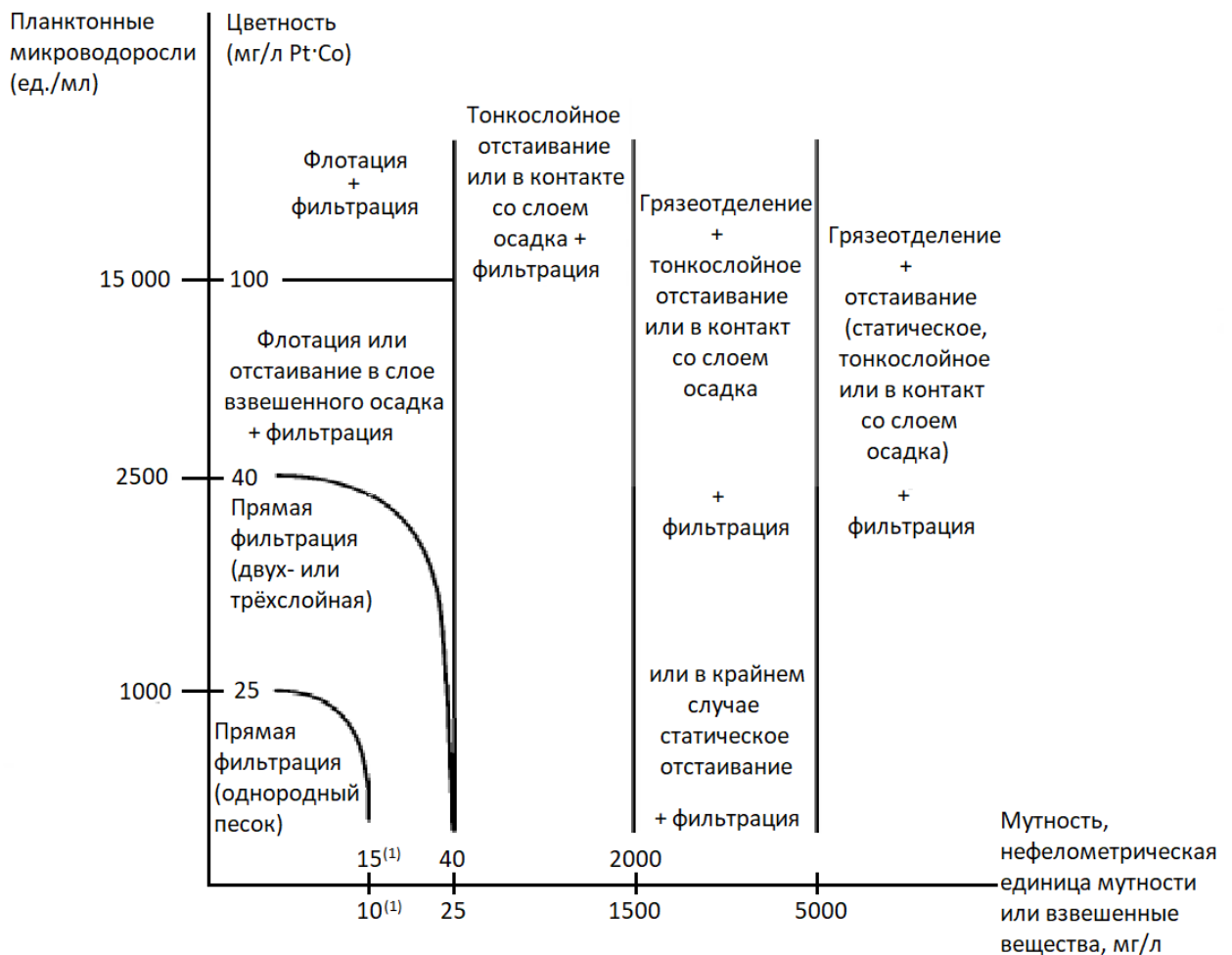


Рисунок 2.2 – Рекомендации по выбору технологической линии осветления

Обеззараживание воды представляет собой санитарно-технический процесс, направленный на уничтожение и недопущение повторного развития содержащихся в воде всевозможных болезнетворных вирусов и бактерий.

Наиболее популярным способом обеззараживания является хлорирование, однако применяются и другие методы такие, как озонирование, УФ и УЗ методы.

«Выбор метода обработки воды основан на предварительном изучении состава и свойств источника, планируемого к использованию, и их сопоставления с требованиями нормативных документов, и самих потребителей»[8].

Характерным признаком примесей воды является агрегатное состояние, которое рекомендуется дисперсностью веществ. В своих работах фазово-дисперсное состояние водных примесей Кульский Л.А. обуславливает их поведением в процессах водоподготовки. К каждому из состояний воды можно подобрать несколько методов воздействий, которые позволят достигнуть требуемых качественных показателей, без изменения состояния или же изменив его.

Многообразие примесей которые загрязняют воду, разделены на четыре группы. Для каждой из групп имеется определённый набор методов водоочистки, предопределяются они формой, примесей содержащихся в воде.

Для каждой группы разработаны технологические схемы очистки примесей, основанные на влиянии процессов, которые протекают под воздействием сил, эффективнее всего влиятельных на данную дисперсную группу:

I группа: взвешенные вещества начиная от высокодисперсных и заканчивая крупными частицами, и бактериальные взвеси, а так же многие другие биологические загрязнения.

Для того чтобы их удалить используются силы гравитации и адгезии, т.к. они кинетически неустойчивые системы. Их возможно очищать как безреагентными методами, так и реагентными.

II группа: высокомолекулярные вещества, их агрегатное состояние неустойчиво в водных растворах, кроме того разнообразные типы коллоидных систем.

Для удаления данных частиц используют адсорбции и силы адгезии. К примеру, обработка воды коагулянтами, флокулянтами, хлором, известью, а также озоном и др. окислителями. Данная обработка уничтожает микроорганизмы, снижает цветность воды, разрушает некоторые коллоиды,

которые проявляют защитные свойства по отношению к гидрофобным примесям воды, с помощью этого создаются благоприятные условия для последующего процесса коагуляции и ускоряется процесс образования хлопьев, а так же их осаждения.

III группа: молекулярные растворы.

Чтобы удалить такие примеси наиболее эффективным способом является ассоциация молекул, в процессе на них влияют силы межмолекулярного взаимодействия. К примеру: окисление, аэрирование, адсорбция.

IV группа: электролиты.

В основном принципе очистки используют силы химических связей, которые характерны для ионных процессов, вследствие связывания реагентами ионов, они подлежат устранению, в соединениях, характеризующих малую растворимость.

Абсолютное число примесей, которые загрязняют водоемы, полностью представлены в четырех группах технологической схемы очистки.

Возьмём во внимание все особенности, которые охарактеризовывают каждую из данных групп, то мы найдём эффективные методы очистки от всего диапазона водных примесей, применив наименьшее число составляющих очистных сооружений, скомпонованных должным образом.

Во время проектирования систем водоочистки данная классификация станет вспомогательным элементом для определения главных элементов очистных сооружений, скомпоновке их, и подборке реагентных процессов, которые должны в них протекать. Эту самую сложную часть в проектировании, рекомендуется развивать с помощью уточнения параметров сооружений и режима работы, при этом учитывая комплекс индивидуальных особенностей, а так же состав примесей в водоисточнике.

Во время составления схемы водообработки необходимо выбирать

такие методы и режимы, которые будут более эффективно влиять на удаление примесей содержащихся в каждой группе. Обязательно должна проводиться лабораторная проверка, а так же осуществляться сравнительная технико-экономическая оценка некоторого количества вариантов.

«Для разработки технологических схем улучшения качества воды требуются многие данные. Прежде всего, устанавливается целевое назначение воды, т. е. требования потребителя к ее физическим, химическим и бактериологическим показателям; учитывается качество воды самого источника водоснабжения и в разные времена года, степень и возможность загрязнения его бытовыми и промышленными сточными водами и др.»[9].

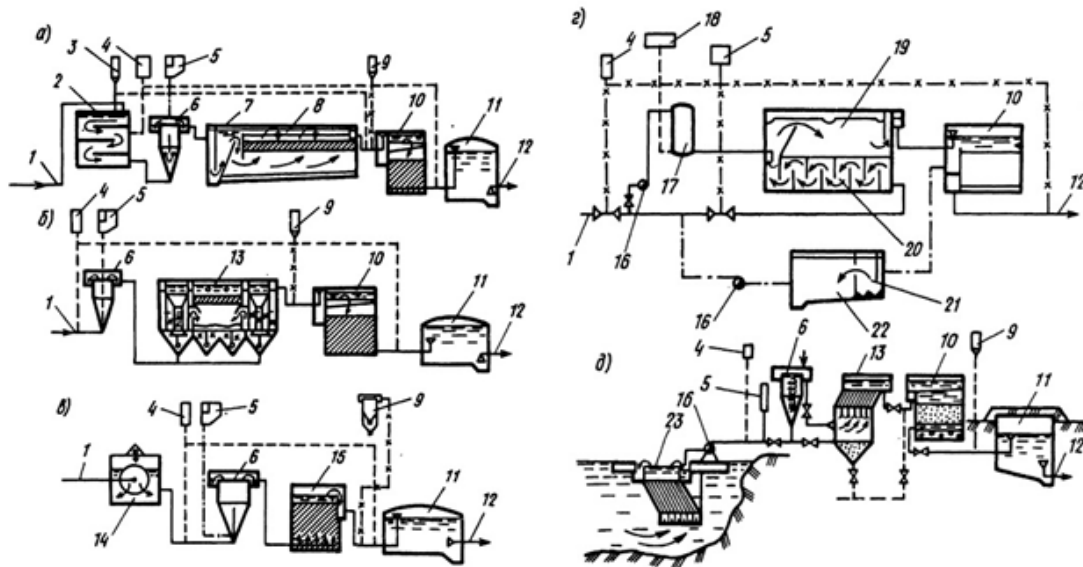
Конструктивные особенности для данной модели определяются технико-экономическими расчетами, производительностью, составом проектируемых сооружений и прочими особенностями.

Технологические, реагентные и безреагентные способы обработки применяются в процессе водоподготовки хозяйственно-питьевой воды, и используют на предприятиях промышленного назначения.

Благодаря реагентам процесс обработки воды ускоряется в несколько раз (рисунок 2.2, а), а так же помогает увеличивать эффективность. К примеру, для осадки большинства взвешенных веществ при применении реагентов требуется от 2 до 4 часов, а если же не использовать реагенты требуется несколько суток. Скорость фильтрования составляет 5-12 м/ч (и более), а при использовании безреагентного метода (фильтрование происходит медленнее) – 0,1-0,3 м/ч.

Преимуществом использования реагентных схем является значительно меньший объём водоочистных сооружений, так же стоит отметить компактность и меньшие капитальные и эксплуатационные затраты. Однако в эксплуатации они более сложны, в сравнении с безреагентными методами водоочистки. Именно по этому безреагентные методы пользуются

популярностью в применении их для очистки водоснабжения маленьких потребителей, но при условии, что цветность исходной воды изначально до 50° платино-кобальтовой шкалы.



а) с отстойниками; б) со слоем взвешенного осадка; в) с контактными осветлителями и микрофильтрами; г) с флотаторами; д) с отстойниками-осветлителями на плаву

Рис. 2.3 – Реагентные технологические схемы улучшения качества воды

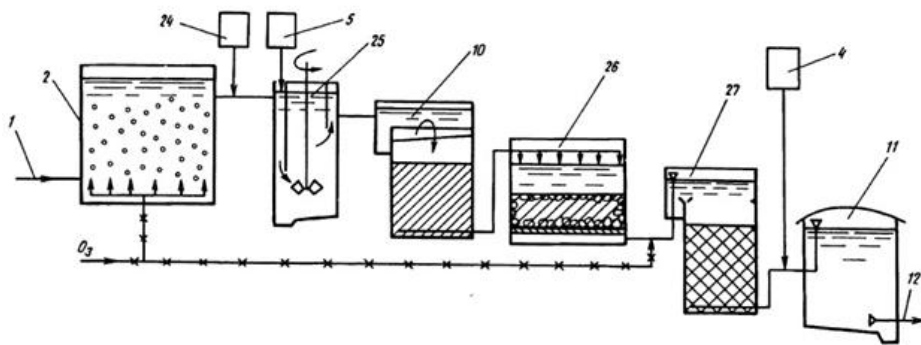
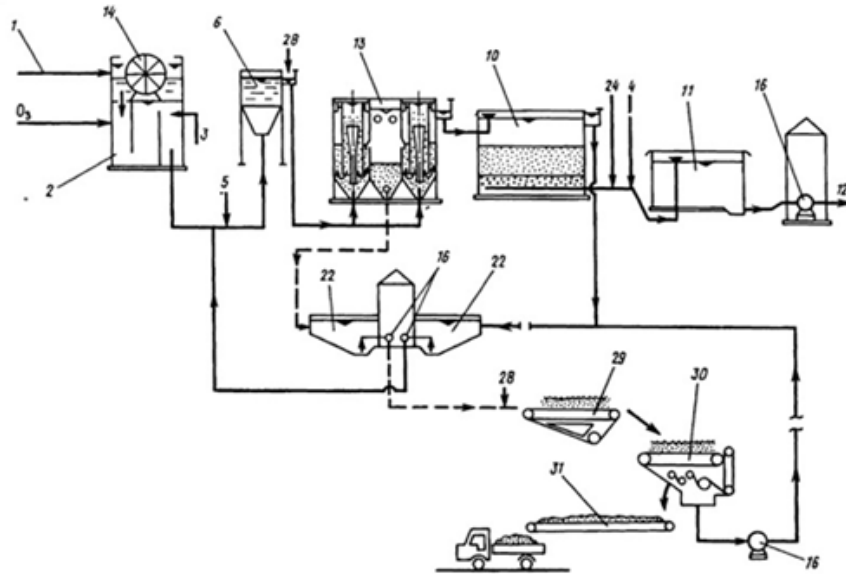


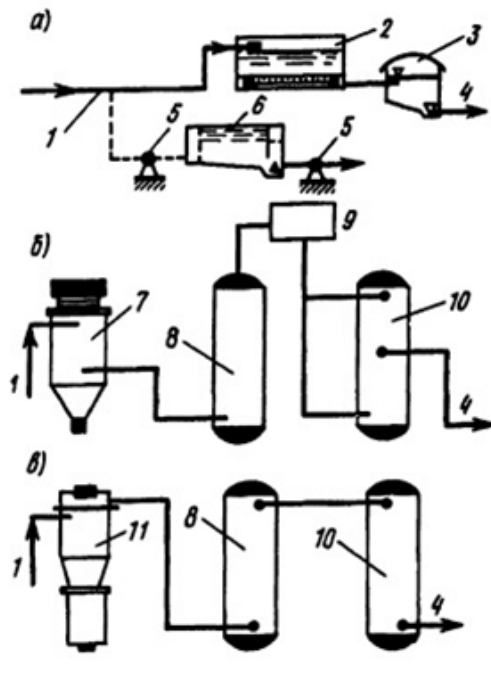
Рисунок 2.4 – Реагентная технологические схема водоподготовки станции Ленгг, Швейцария для обработки воды повышенного антропогенного воздействий



1,12 — подача исходной и отвод обработанной воды; 2 — контактная камера; 3,4,5,9,24,28 — установки соответственно углевания, хлорирования, коагулирования, фторирования и известкования; 6, 25 — вертикальный и механический смесители; 7 — вихревая камера хлопьеобразования; 8 — горизонтальный отстойник со встроенными тонкослойными модулями; 10, 26 — скорый и биологический фильтры; 11 — резервуар чистой воды; 13 — осветлитель со взвешенным осадком с рециркуляторами осадка; 14 — микрофильтр (барabanное сито); 15 — контактный осветлитель; 16 — насос; 17 — напорный бак; 18 — компрессор; 19 — флотатор; 20 — перегородчатая камера хлопьеобразования; 21 — песколовка; 22 — резервуар-усреднитель; 23 — водозабор-осветлитель с тонкослойными модулями; 27 — сорбционный фильтр с ГАУ; 29 — ленточный сгуститель; 30 — фильтр-пресс; 31 — конвейер [11]

Рисунок 2.5 – Реагентная технологическая схема водоподготовки для обработки и очистки маломутных цветных вод

Безреагентные схемы изображенные на рисунке 2.6 широко применяются для водоснабжения объектов промышленного назначения, где требуется сильное осветление воды. В большинстве случаев применяют только отстаивание или процеживание через сетки, либо фильтрование на скорых грубозернистых фильтрах.



1,4 — подача исходной воды и отвод обработанной воды; 2,7 — медленный и акустический фильтры; 3 — резервуар чистой воды; 5 — насос; 6 — сооружения оборота промывной воды; 8, 10 — скорый фильтр I и II ступени; 9 — распределительный бак; 11 — гидроциклон [11]

а) с медленными фильтрами; б) с акустическими фильтрами; в) с гидроциклоном
 Рисунок 2.6 – Безреагентные технологические схемы с медленным и акустическим фильтрами, с гидроциклоном

Глубину очистки подбирают отдельно в каждом случае в зависимости от требований. Применение воды, прошедшей полное осветление, соответствующей требованиям и стандартам ГОСТ 2874–82 "Вода питьевая" и СанПиН 4630–88 становится доступным в местах с высокими требованиями к воде, на промышленных водопроводах, и на хозяйственно-питьевых. Способы для неполного осветления воды в основном используются для подготовки технической воды и её охлаждения. При использовании схемы глубокого осветления воды, содержание взвеси в очищенной воде в разы больше – до 50 - 100 мг/л.

Схем разделяются на однопроцессные, двухпроцессные и многопроцессные, учитывается количество технологических процессов и

число их ступеней. Рисунок 2.2, б, на нём показана усовершенствованная двухпроцессная технологическая схема, в которой отражены два основных процесса: фильтрация и контактная коагуляция с осаждением. Фильтрация происходит в две ступени, а коагулирование последовательно.

Основные технологические процессы бывают двухступенчатые – это повторение одного процесса два раза, а бывает и больше, такие схемы будут называться трехступенчатыми или многоступенчатыми. К примеру, в двухступенчатой однопроцессной технологической схеме с контактными осветлителями (рис. 2.2, в) в роли основного технологического процесса выступает фильтрация, осуществляемое повторно несколько раз.

Схемы очистки воды подразделяют на напорные и безнапорные. На больших водопроводных станциях подготавливающих воду для городов и крупных промышленных предприятий, как правило используют безнапорную схему, вода подаваемая на сооружение водоподготовки движется самотеком от сооружения к сооружению, при этом отметка зеркала в каждом последующем сооружении опускается ниже по сравнению с предыдущим, исходя из этого определяется напор воды, который способствует преодолеть сопротивления гидравлики.

При напорной схеме существует возможность установки сооружений на одной высотной отметке или же на разных. Таким образом, что последующее будет выше предыдущего, при этом требуется устройство насосных станций первого и второго подъемов и дополнительных резервуаров чистой воды. Подобная схема показана на рисунке 2.2.

Для того чтобы выбрать наиболее подходящую схему водоочистки необходимо учесть несколько факторов: самое главное это качество воды в источнике из которого изначально берётся вода для последующей очистки, но и требованиями потребителя, а так же немаловажным фактором является количество требуемой воды потребителю (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Выбор сооружений станции очистки воды, для хозяйственно-питьевых целей (исходя из рекомендаций СНиП 2.04.02-84*)

Основные сооружения	Исходная мутность, мг/л	Исходная цветность, град	Производительность станции, м ³ /сут
1	2	3	4
Обработка воды с применением флокулянтов и коагулянтов			
1. Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование): — напорные — открытые	Менее 30 Менее 20	Менее 50 Тоже	Менее 5000 Менее 50 000
2. Вертикальные отстойники — скорые фильтры	Менее 1500	Менее 120	Менее 5000
3. Горизонтальные отстойники — скорые фильтры	Тоже	Тоже	Свыше 30 000
4. Контактные фильтры — скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование)	Менее 300	Менее 120	Любая
5. Осветлители со взвешенным осадком — скорые фильтры	От 50 до 1500	»	Свыше 5000
6. Две ступени отстойников — скорые фильтры	Свыше 500	»	Любая
7. Контактные осветлители	Менее 120	»	Тоже
8. Горизонтальные отстойники и осветлители со взвешенным осадком для частичного осветления воды	Менее 1500	»	»
9. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	Менее 120	»	»

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
10. Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	Свыше 1500	»	»
11. Трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовителя (типа «Струя»)	Менее 1000	»	Менее 800
Обработка воды без применения коагулянтов и флокулянтов			
12. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	Менее 150	Менее 120	Любая
13. Радиальные отстойники для частичного осветления воды	Свыше 1500	Тоже	Тоже
14. Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией песка	Менее 1500	Менее 50	»

2.2 Применяемые в России технологические схемы

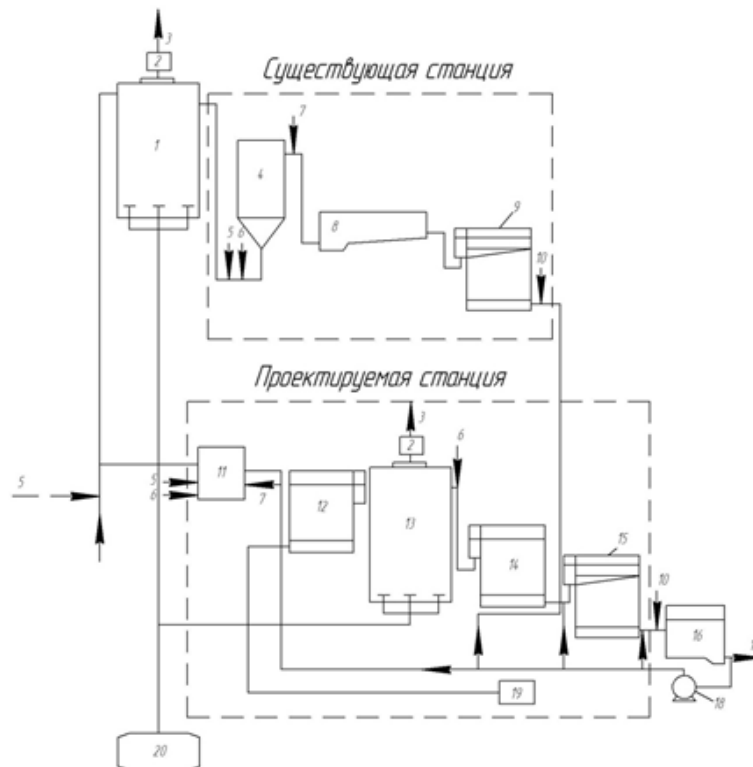
Поверхностные водохранилища, постоянно загрязняются, оказывая неблагоприятное действие на здоровье человека, а так же на качество воды, предназначенной для питья. Непосредственно из водоемов забирается большая часть воды для последующей очистки для соответствия требований стандартов. Поверхностное загрязнение растет в следствии не качественной очистки канализационных стоков, а также в следствии того, что часть предприятий недостаточно обеззараживают воду перед сбросом в канализацию. [12].

По данным российских исследователей порядка 40% заражений происходит по причине плохого качества воды. По данным Всемирной Организации Здравоохранения, количество случаев инфекционных

заболеваний из-за плохого качества воды, достигает 500 млн. случаев в год [13]. Это доказывает необходимость обеззараживания воды, однако недостаточно обеззараживания на станциях водоподготовки, проходя по распределительной сети очищенная вода может подвергаться заражению, в связи с чем на настоящее время не возможно уйти от хлорирования.

В основе современных технологических схем лежат процессы удаления взвешенного осадка и обеззараживания. Рассмотрим на примере реконструкции водозабора в городе Калуге. Представленная ниже схема основана на коагулировании сернокислым алюминием и оседении с использованием отстойников, фильтровании и обеззараживании с использованием хлора. Это основные составляющие технологических схем, применяемых в России и странах Европы. Добавление составляющих улучшает качество получаемой воды, однако приводит к существенному удорожанию. Дополнительно может применяться фильтрование на песчаных и угольных фильтрах, обработка ультрафиолетовыми лучами и прочее.[14]

Исход из качества водоисточника и состояния установок была разработана новая схема второй очереди Окского водозабора для улучшения качества получаемой воды.[14] (рисунок 2.7). Новая схема очистки предполагает получение производительности около 100 тыс. куб. м/сутки. Существенным изменением схемы является внедрение процесса постозонирования после контактных осветлителей.

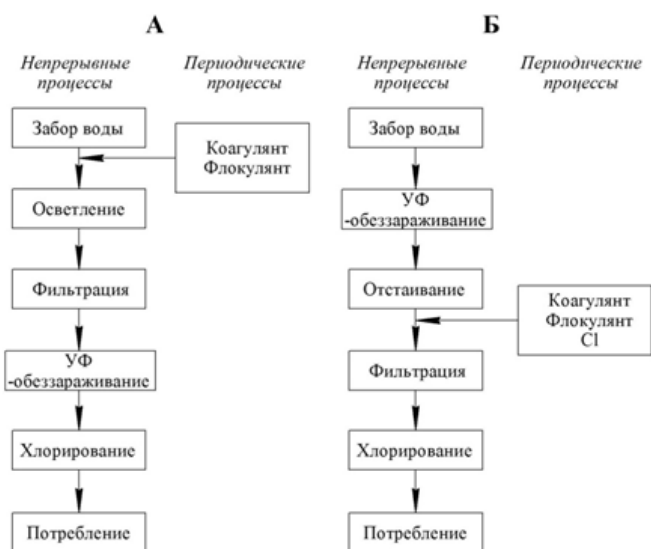


1 – контактная камера озонирования; 2 – аппарат каталитического разложения озона; 3 – выброс в атмосферу; 4 – смеситель; 5 – первичное обеззараживание на водозаборе; 6 – введение коагулянта; 7 – подача флокулянта; 8 – отстойник с встроенной камерой хлопьеобразования; 9 – скорый фильтр; 10 – вторичное обеззараживание; 11 – входная камера с барабанными сетками; 12 – контактный осветлитель; 13 – контактная камера озонирования; 14 – песчаный фильтр; 15 – угольный фильтр; 16 – резервуар чистой воды.

Рисунок 2.7 – Комплексная схема улучшения качества очистки воды на Окском водозаборе в городе Калуга

Для повышения глубины очистки и удаления побочных продуктов озонирования и хлорирования дополнительно в схему добавлены угольные фильтры. Обеззараживание воды на данном блоке рекомендовано осуществлять гипохлоритом натрия, получаемым из минерализованных подземных вод, которые находятся на территории станции, при помощи электролиза. В совокупности с обеззараживанием воды требуется проводить её аммонизацию, так же гипохлоритом натрия, именно это позволит продлить действие обеззараживания воды хлор-реагентом и сохранить качество, требуемое для очищенной, питьевой воды [14].

Технологические схемы, используемые в современном мире для обеззараживания питьевой воды, которые отражают всю специфику водоочистки в различных странах (рисунок 2.8.)



а) Лондон (Англия), Форт Бентон (США), Среднеуральск (Россия); б) Тольятти, Отрадное (Россия)

Рисунок 2.8 – Технологические схемы обеззараживания питьевой воды в различных городах

Подробно будем разбирать только основные способы обеззараживания воды, которые применяются в России.

В России хлорированию подвергается практически весь объем обрабатываемой воды, однако в других странах примерно такое же количество хлорированной воды (около 99%). Считается, что только применение хлора позволяет обеспечивать микробиологическую безопасность воды на участке от станции водоподготовки до потребителя. В отличие от прочих способов, применяемых для обеззараживания воды, к примеру, обработка ультрафиолетом при использовании этого способа допускается повторное заражение воды на участках водопровода которые идут после, поэтому всё равно вода хлорируется на одной из стадий обработки воды.

За последние года хлор стал универсальным средством для обеззараживания питьевой воды. Различные похожие реагенты требуют к себе отдельного предостережения, т.к. не изучены последствия влияющие на здоровье населения.

Требования предъявляемые при обращении с хлором достаточно ужесточены, тем самым проявляют желание перейти на более безопасный способ обеззараживания, который будет соответствовать требованиям СанПиНа 2.1.4. 1074-01 [15], есть вариант решить это путем замены на первичном этапе вместо хлорирования, использовать ультрафиолетовое облучение. В большинстве случаев избежать хлорирования на вторичном этапе не удастся, т.к. на данный момент только использование хлорирования обеспечивает микробиологическую безопасность воды в любой из точек водопроводной сети, т.к. его действие остаточное.

Рассмотрим применение ультрафиолетового облучения. Данный способ обеззараживания позволит избавляться полностью от побочных продуктов обеззараживания, образующихся при использовании прочих методов, но его применение осложняется тем, что отсутствует возможность контролировать эффективность процесса использования данного способа обеззараживания воды.

Существуют определенные технические указания по проектированию систем водоснабжения с учетом возможности использования ультрафиолета, однако нет четких указаний по величине бактерицидного потока. Поэтому система ультрафиолетового обеззараживания должна снабжаться дублирующийся контролирующей автоматикой и датчиками, контролирующими процесс.

В последнее время завоевывает популярность гипохлорит натрия в качестве средства обеззараживания распределительной сети. Помимо этого

гипохлорит натрия относительно безопасен, не горюч и не попадает под требования стандартов дополнительной безопасности.

Недостатки ГХ были выявлены в Мосводоканале [16], где существует практика использования в водоснабжении низкоконцентрированного ГХ марки “Э” с содержанием активной части около 6 грамм на литр и ГХН марки “А” с содержанием активной части 190 грамм на литр. В ходе исследований стало понятно, что использование гипохлорита натрия приводит к образованию большего количества тригалогенметанов – токсичного вещества.

Кроме того оказалось, что отечественные производители не способны удовлетворить полную потребность в гипохлорите натрия для Мосводоканала. Кроме того требовалось обучение персонала, установки для гипохлорирования не всегда применимы, кроме того не до конца изучен пост эффект ГПХ. Из-за организации непрофильного химического производства со всеми его минусами для водоканала возрастают затраты на водоподготовку для эксплуатации.

В Европе данные недостатки также являются фактором который сдерживает использование ГХ.

Следует так же взять во внимание степень влияния конкретного способа обеззараживания на основные виды микроорганизмов, которые обитают в водоисточниках. Следует оценить эффективность данных систем с учетом устойчивости к их воздействию определённого объема биомассы.

2.3 Технология хлорирования

После того как вода подвергается механической очистки природная вода все ещё не считается питьевой, это обусловлено тем что, даже имея нормальные органолептические, а так же физико-химические свойства, не

безопасна для применения, из-за того что в ней содержится множество вирусов, бактерий и простейших.

Самый распространённый и эффективный метод обеззараживания воды - это хлорирование. Хлор действует и на органические вещества, окисляя их.

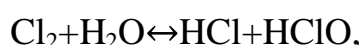
Существует два компонента бактерицидного эффекта хлора и его соединений:

1. Бактерицидное действие хлора;
2. Бактерицидное действие атомарного кислорода (O), он образуется в процессе распада хлорноватистой кислоты, оно образовывается при взаимодействии хлора с водой.

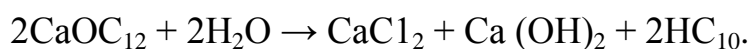
Хлорирование воды происходит путём обработки её жидким или газообразным хлором. На малых водоочистных сооружениях допускается применять хлорную известь.

Хлорирование воды способствует обеспечить микробиологическую безопасность обрабатываемой воды, а так же предотвращает распространение большинства патогенных бактерий таких как: бациллы брюшного тифа, вибрионы холеры, туберкулеза и дизентерии, вирусы энцефалита и полиомиелита.

Гидролиз хлора происходит в соответствии с ниже представленным уравнением:



При замене хлора хлорной известью может происходить реакция:



Бактериологический эффект в момент хлорирования напрямую зависит от дозы и времени контакта. Исходя из выше сказанного следует, что способность одной и той же воды к воздействию хлора и хлоросодержащих реагентов, равна суммарному расходу хлора на окисление примесей, следовательно она является переменной, напрямую зависящей от внедрённой

дозы, величины рН, продолжительности контакта, температуры воды и прочего (рисунок 2.9 и 2.10). Вероятно, что доза хлора вводимого в воду, должна быть больше величины хлоропоглощаемости на величину остаточного хлора. Наличие хлора является гарантией максимального окисления органических веществ и бактерий в воде.

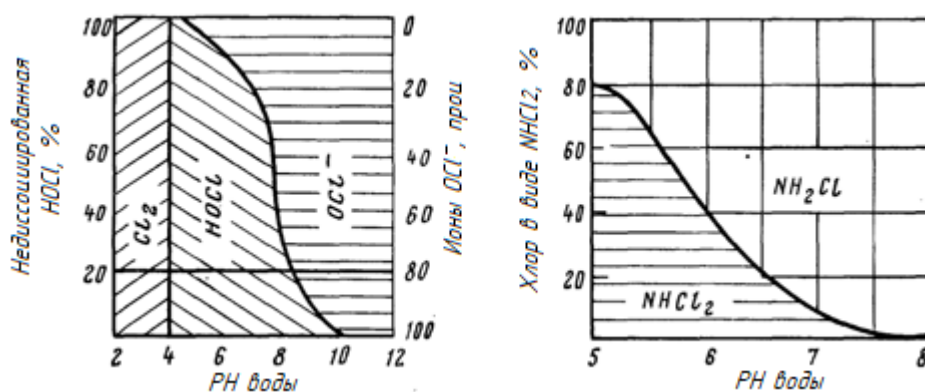


Рисунок 2.9 – Форма соединений хлора при различных значениях рН ВОДЫ

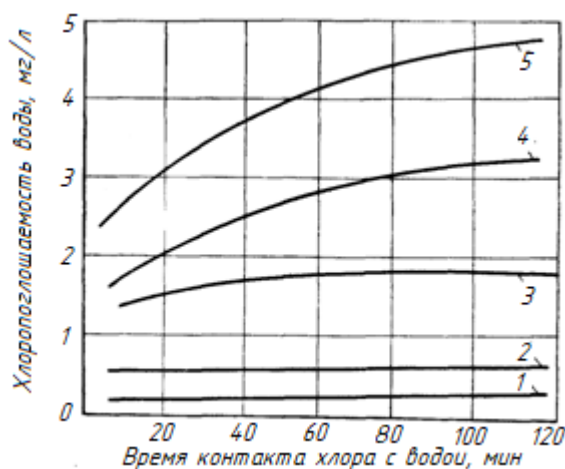


Рисунок 2.10 – Зависимость хлоропоглощаемости от времени контакта хлора с водой: дозы хлора, мг/л: 1 — 0,5; 2 — 0,75; 3 — 2,0; 4 — 4,0; 5 — 20,0

Графически, связь воды и внедренного хлора может быть представлена ломанной, а может быть прямой линией (рисунок 2.11). Непрямолинейный характер зависимости указывает на наличие в обрабатываемой воде аммиака. На второй кривой первая точка перелома показывает образование

монохлорамина NH_2Cl с наименьшим, относительно у хлора окислительно-восстановительным потенциалом. 2я точка перелома кривой показывает момент образовавшегося монохлорамина избыточным хлором, что вызывает окисление [17].

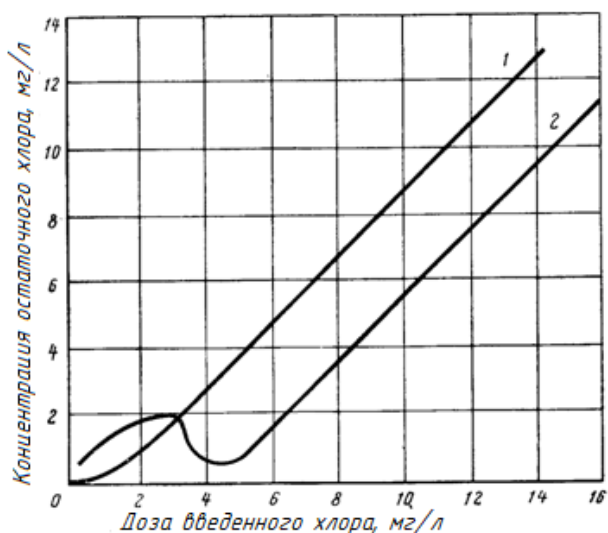


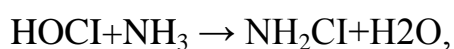
Рисунок 2.11 – Зависимость остаточного хлора от дозы введенного в воду при отсутствии и при наличии в ней аммонийных солей

Традиционно применяют одно и двухкратное хлорирование. Однократное подразумевает использование хлора в фильтрованную воду для обеспечения качества после прохождения распределительной сети. Двукратное хлорирование подразумевает использование хлора также до камеры хлопьеобразования. Это необходимо для окисления органических защитных коллоидов, препятствующих процессу коагуляции, а также окисления гуминовых веществ, обуславливающих цветность воды, с целью экономии коагулянта, расходуемого на ее обесцвечивание. Доза хлора на предварительное хлорирование может достигать вплоть до 5 мг/л[18].

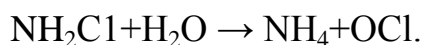
Иногда для достижения требуемых качеств приходится прибегать к перехлорированию. После перехлорирования в воде весьма велика остаточная концентрация хлора (1...7 мг/л), по этой причине необходимо ее

дехлорировать. В большинстве случаев воду обрабатывают сернистым газом, сульфитом натрия, а так же проводят фильтрацию через активный уголь.

Необходимо продлевать бактерицидный эффект хлора, а также предотвращать резкие запахи которые образуются при длительном пребывании воды в водоводах и резервуарах более чем 1,5 часа. Способы решения данной проблемы: в воду помимо хлора может вводиться аммиак, так же это позволяет сократить расход хлора и в большинстве случаев может улучшиться вкус питьевой воды. Впоследствии взаимодействия хлорноватистой кислоты с аммиаком, получаются монохлорамины:



они в процессе гидролизуются, и образуют сильный окислитель который носит название - гипохлоритный ион:



Гидролизация хлораминов происходит достаточно медленно, в связи с чем его окислительные действия в первое время ниже, чем у хлора. Однако продолжительность бактериального действия хлораминов значительно выше, что и является основанием для применения аммонизации. Соотношение вводимых доз двух компонентов напрямую зависит от качества воды на начальном этапе, в большинстве случаев оптимальной дозой аммиака является в 5-6 раз меньше чем доза хлора. Вводят аммиак изначально в фильтрат при наличии фенолов приблизительно за 2-3 мин до введения хлора.

«На эффективность обеззараживания путём хлорирования значительно влияет начальная доза хлора и продолжительность сохранения в обрабатываемой воде его некоторой остаточной концентрации. Минимальная продолжительность контакта 30 мин при остаточном содержании свободного хлора 0,3—0,5 мг/л»[19].

Хлор, расходуемый на окисление примесей воды, т.е. хлоропоглощаемость, равна разнице между объемом добавленного хлора и непосредственно его концентрации в воде через 30 минут пребывания.

Число побочного хлора, используемого в процессе обеззараживания, относятся: хлорит натрия, гипохлориты натрия, кальция, и оксид хлора.

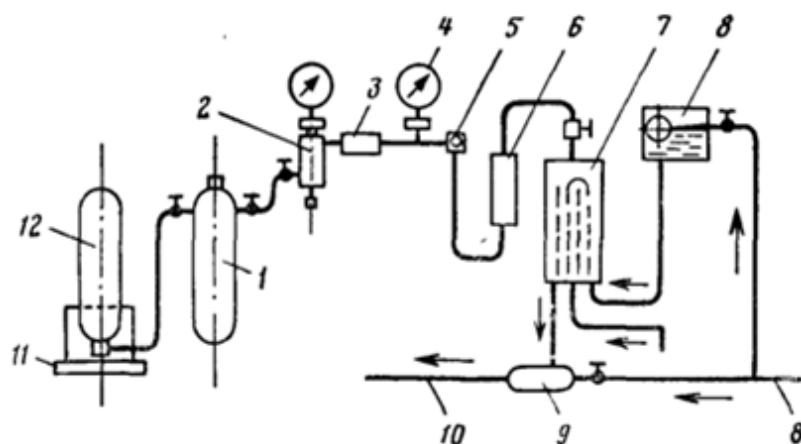
Скорость процесса обеззараживания определена кинетикой диффузии оксиданта внутрь клетки и интенсивность отмирания клеток вследствие нарушения метаболизма, т.е. обмена веществ. Концентрация хлора в воде растёт, именно с этим связано повышение её температуры, и происходит перевод его в сравнительно легко диффундирующую, недиссоциированную форму скорость процесса обеззараживания возрастает.

С повышением рН воды, бактерицидное действие хлора ухудшается. Исходя из этого, обеззараживать воду хлором следует производить при более низких значениях рН и более высоких температурах. Органические примеси, которые содержатся в воде, они способны окисляться это способствует замедлению процесса обеззараживания воды.

В процессе дехлорирования при дозировании в воду сернистого газа, хлора и аммиака применяют вакуумные газодозаторы системы ЛОНИИ-100 (рисунок 2.12) и системы Л. А. Кульского (рисунок 2.13). Из баллонов, которые установлены на специальные весы, приспособленные для контроля расхода хлора. В жидком виде хлор передается в Промежуточный баллон, где он испаряется, и отделяются загрязняющие хлор примеси. Далее уже в газообразном состоянии хлор проходит через фильтр со стекловатой и через понижающий давление редуктор, это необходимо для окончательной очистки хлорированного газа. Степень понижения давления отслеживается двумя манометрами, которые установлены до и после редукционного клапана. При помощи диафрагмы создается перепад давлений, именно он служит импульсом для работы измерителя расхода хлора. Далее хлор, поступает в

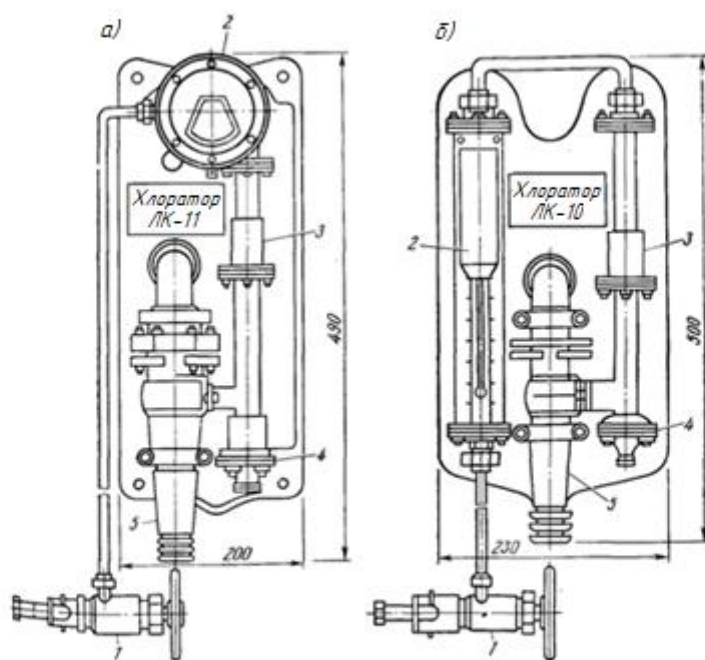
смеситель, и происходит смешивание с водопроводной водой, на этом этапе происходит образование хлорной воды, она засасывается эжектором и после отводится по назначению [20].

Вакуумные хлораторы созданные по системе Л. А. Кульского изображены на рисунке 2.13 — хлоратор ЛК-11 средней производительности для расхода хлора в пределах 0,5 ... 4,5 кг/ч и хлоратор ЛК-10 малой производительности, рассчитанный на расход хлора в пределах 40 ... 800 г/ч.



1 — промежуточный баллон; 2 — фильтр со стекловатой; 3 — редукционный клапан для снижения давления хлор-газа; 4 — манометр; 5 — измерительная диафрагма; 6 — ротаметр; 7 — смеситель; 8 — подача водопроводной воды; 9 — эжектор, создающий разрежение в хлораторе; 10 — отвод хлорной воды на дозирование; 11 — весы; 12 — баллон с хлором

Рисунок 2.12 – Вакуумный хлоратор ЛОНИИ-100



1 – микровентиль для дозирования хлора; 2 – ротационный измеритель хлор-раза;
 3,4 – водяной и газовый клапан; 5 – водоструйный насос.
 а) ЛК-11 и б) ЛК-10

Рисунок 2.13 – Вакуумный хлоратор системы Л.А. Кульского

Во время проектирования хлораторных установок, необходимо помнить о токсичности хлора, и принимать меры, которые обеспечат безопасность обслуживающего персонала [21].

В заключении можно отметить то, что эффективность хлорирования напрямую зависит от:

1. Активности применяемых веществ. Самую большую активность имеет хлор, у хлорной извести активность несколько слабее, причем ее эффективность напрямую зависит от содержания в ней активного хлора от 25 до 35 %, другие соединения оказывают более слабое воздействие.

2. Качество, т.е. чистота хлорируемой воды. Взвешенные частицы присутствующие в воде препятствуют бактерицидному действию хлора, так же хлор тратится на окисление органических веществ воды. Чем чище вода изначально, тем хлорирование пройдет эффективнее.

3. Дозы хлора и время его действия. От дозы хлора и величины хлорпоглощаемости напрямую зависит количество остаточного хлора, именно он обеспечивает обеззараживающее воздействие.

4. Свойства микроорганизмов.

Основные недостатки хлорирования:

1. Хлор изменяет органолептические свойства воды то есть прозрачность, вкус и запах.

2. Присутствие хлоррезистентных микробов таких как, спорообразующие (таблица 2.3)

Таблица 2.3 – Характеристика важнейших возбудителей инфекций, передаваемых с водой

Возбудитель инфекции	Продлжительность выживания в воде (сутки)	Максимальная допустимая доза (клетки)	Степень устойчивости к хлору
1	2	3	4
Бактерии			
<i>Shigella spp.</i>	5...30	10	Низкая
<i>Vibrio cholerae</i> (Холера)	5...20	1000	Низкая
<i>Salmonella spp.</i>	15...280	10000 – 1млн	Низкая
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (синегнойная палочка)	Способна размножаться	>10000	Средняя
<i>Legionella pneumophilla</i>	230...360, может размножаться	>10000	Высокая
Вирусы			
<i>Enteroviruses</i> (Энтеровирусы)	20...200	1...10	Средняя
<i>Rotaviruses</i>	10...70	1...10	Средняя

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4
Простейшие			
<i>Giardia lamblia</i> (Кишечная лямблия)	20...80	60...100	Высокая
<i>Entamoeba histolytica</i> (Дизентерийная амёба)	30...60	20...80	Высокая
<i>Cryptosporidium parvum</i> (Криптоспоридиоз)	50...120	0...30	Высокая

Важнейшей проблемой данного метода является высокая активность хлора, т.к. он вступает в химические реакции со всеми органическими и неорганическими веществами, которые находятся в воде. В воде находящейся в поверхностных источниках, они и являются источниками водозабора. В которых находится огромное количество сложных органических веществ природного происхождения. Также проблема существующая в большинстве крупных промышленных городах попадание в воду вместе с промышленными стоками красители, нефтепродукты, фенолы, ПАВ и прочие.

В процессе хлорирования воды, в которой содержатся вышеперечисленные вещества, происходит образование хлорсодержащих токсинов, а так же канцерогенные и мутагенные вещества и даже яды, в том числе диоксиды, а точнее:

- Хлороформ, он обладает канцерогенной активностью;
- Хлоридбромметан, дихлорбромметан, трибромметан – данные диоксиды обладают мутагенными свойствами;

– 2-хлорфенол, 2,4,6-трихлорфенол, полихлорированные бифенилы хлоргиередин, дихлорацетонитрил, - они являются канцерогенными и иммунотоксичными веществами;

– Канцерогенные соединения хлора, а именно тригалогенметаны.

Эти вещества оказывают на организм человека замедленное убийственное воздействие. Многие из опасных соединений которые образуются в воде в процессе ее хлорирования попадают в организм человека через кожу, во время обычных процедур, таких как мытья, приема ванны и посещения бассейна, поэтому очистка питьевой воды от хлора не решает все проблемы.

Исходя из мнений некоторых исследователей, именно с употреблением загрязненной воды может быть связано от 30 до 50% случаев злокачественных опухолей. Другие же исследователи утверждают, что потребление речной воды может привести к увеличению заболеваемости онкологией на 15%.

2.4 Технология ультрафиолетовой обработки воды

Так же одним из наиболее распространенных методов, стоящий наряду с хлорированием, является ультрафиолетовое (УФ) обеззараживание воды.

В основном применяется этот способ на начальной стадии водоочистки от различных болезнетворных микроорганизмов. Ультрафиолетовая обработка применяется только в сочетании с обеззараживанием воды хлором или гипохлоритом, этот этап обязательно требуется производить после обработки воды ультрафиолетом.

Такому широкому распространению УФ облучение обязано своей безреагентной основе, данная технология не только способствует образованию в процессе обеззараживания токсичных соединений (такое

происходит в случае применения хлора), а так же одновременно практически полностью уничтожает патогенную микрофлору.

Обозначим что из себя представляет ультрафиолет — это электромагнитное излучение, у которого длина волны составляет от 10 до 400 нм. Данные волны расположены на границе видимости рентгеновских лучей, так же УФ излучение делится на 3 вида:

- дальний;
- средний;
- ближний.

Для ультрафиолетового обеззараживания воды на сегодняшний день применяют волны достаточно узкого диапазона, в среднем от 250 до 270 нм. В данных рамках бактерицидное воздействие ультрафиолета приобретает для себя максимальное значение. Наибольшая часть установок по обеззараживанию воды ультрафиолетом используют лампы с низким ртутным давлением, которое производит излучение длиной в 260 нм, это и есть, оптимальная длина волны. Работая на данной длине волны происходит умягчение воды.

УФ обеззараживание воды в особенности происходит благодаря способности ультрафиолета проникать сквозь стенки клеток, добираясь до ее информационного центра — нуклеиновых кислот РНК и ДНК. В ДНК живой клетки хранится абсолютно вся информация, контролирующая процесс нормального функционирования и развития в клетке. Обеззараживание воды ультрафиолетом заключается в том, что он поглощает лучи излучения нуклеиновыми кислотами. Когда излучения ДНК и РНК поглощаются, они теряют свою способность деления, из-за чего и теряется способность клетки размножаться, потому что репродукция клетки заключается именно в разделении нуклеиновых кислот. Исходя из того что болезнетворные микроорганизмы, способны нанести вред только в том случае если начнут

размножаться в организме человека, а после того как они были подвержены воздействию ультрафиолетового излучения, естественно утратили данную способность и любой негативный эффект от них исключён.

Облучение ультрафиолетом должно применяться для того чтобы обеспечить уровень обеззараживания воды до такого качества чтобы оно соответствовало нормативному исходя из микробиологических показателей. Необходимая доза выбирается из оснований требуемого снижения концентрации индикаторных и патогенных микроорганизмов [22].

Установки, требуемые для ультрафиолетового обеззараживания воды, обладают несложным конструктивным исполнением и представляющие собой металлические трубки, в которых размещены ультрафиолетовые лампы. Одним из обязательных элементов данных фильтров обработки являются кварцевые чехлы, именно в них расположены УФ лампы (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Фото установки для УФ - обеззараживания воды

Рассмотрим принцип работы приведённых выше установок, он происходит следующим образом: вода, проходит через корпус фильтра ультрафиолетового обеззараживания воды, соприкасается с кварцевым чехлом, при этом получает необходимую дозу ультрафиолетового облучения способствующую уничтожению различных болезнетворных бактерий (рисунок 2.15). Исходя из устройства установки показанного на рисунке, становится ясным то, что кварцевый чехол необходим для предотвращения попадания воды в корпус ультрафиолетовой лампы.

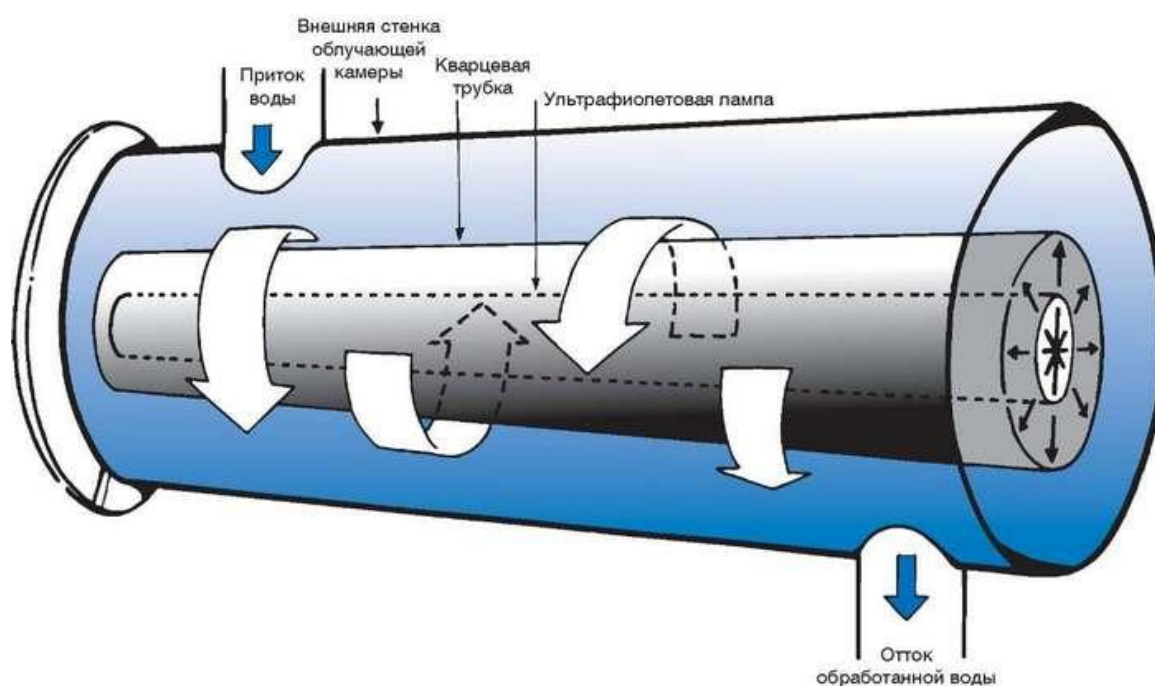


Рисунок 2.15 – Принципиальная схема установки для УФ - обеззараживания воды

Лампа - источник УФ облучения и непосредственно основной элемент данной установки (рисунок 2.16). Бактерицидный поток образовывается в процессе испарения определённого металла находящегося в корпусе лампы. Самый распространённый материал для УФ ламп - ртуть. Чтобы эффективно уничтожить болезнетворные микроорганизмы, обязательным является точный контроль, длины ультрафиолетовых лучей которые излучают

лампы волны. Давление в лампе, под которым находятся пары ртути, является основным фактором, который определяет их длину.

Лампы ультрафиолетового излучения разделяются на 3 типа:

- УФ лампы низкого давления;
- УФ лампы среднего давления;
- УФ лампы высокого давления.



Рисунок 2.16 – Лампа ультрафиолетового излучения

Для того чтобы обеспечить полное обеззараживание воды возможно использование только двух из вышеперечисленных ламп: низкого и среднего давления. Наибольшей популярностью на сегодняшний день пользуются лампы низкого и среднего давления, т.к. они производят излучение длиной около 260нм, этого более чем достаточно для обеспечения полного обезвреживания микроорганизмов, так же преимуществом является то, что они долговечны в использовании и потребляют меньшее количество энергии в сравнении с остальными типами.

Условия эффективности УФ обеззараживания воды

Как и у любого из методов, у данного способа имеется ряд ограничений, который существенно затрудняет полноценную работу, и могут снизить эффективность установок УФ обеззараживания воды.

Немало важным является фактор размера и вида организма. В теории, УФ радиация способна убить бактерии, вирусы, простейших и грибки. Но в практике крупные организмы, к примеру, простейшие, требуют получения

большой дозы облучения. Так же большую роль играет вид организма: некоторые бактерии более устойчивы к облучению, в отличие от других.

Существует ещё один фактор, влияющий на качество водоочистки, это необходимая доза ультрафиолетового облучения и мощность применяемой УФ лампы. Требуемую дозу бактерицидного потока рассчитывают исходя из интенсивности, которая требуется для облучения и непосредственно длительность его воздействия, учитывая характер микроорганизмов находящихся в воде. При большем подвержении воздействию ультрафиолетового излучения воды, большее количество вредоносных микроорганизмов погибает. Время контакта называют временем "выдержки", чем меньше время выдержки, тем выше скорость потока воды. Немаловажную роль играет длина лампы, которая так же оказывает влияние на длительность контакта воды со стерилизатором. Рассчитывая необходимую дозу, большое значение имеет количество микробов и бактерий, которые изначально находятся в воде.

Количество произведенного УФ зависит от мощности используемой лампы. Мощная лампа — производит больше ультрафиолета. Способность ультрафиолетовых лучей производить ультрафиолет со временем падает, поэтому лампы требуется заменять один раз в 4-6 мес. Для того чтобы выработать ультрафиолет, необходимо обеспечить комфортную температуру — от 40 до 43°C. В холодной среде, которая является некомфортной для выработки УФ лучей, продуктивность стерилизаторов падает.

Немаловажное значение для обеспечения успешного функционирования установок ультрафиолетового обеззараживания имеет свойство исходной воды, а именно количество содержащихся в ней примесей и непосредственно состав воды. Имеются чётко определенные нормативы по содержанию в воде крупнодисперсных загрязнителей, железа, и цветности, при превышении данных нормативов дальнейший процесс обеззараживания

воды ультрафиолетовыми лучами становится малоэффективным. Частицы железа и крупнодисперсные примеси для некоторых микробов и бактерий, присутствующих в воде действуют на подобии щиту. Исходя из этого микробы и бактерии не получают необходимой дозы УФ облучения и оказывают негативное влияние на качество обеззараживания воды ультрафиолетом, именно поэтому изначально требуется провести обезжелезивание воды.

Вода, поступающая в установки обязательно должна соответствовать определённым требованиям: содержание сероводорода – не более 0,05 мг/л; мутность – не более 2 мг/л по каолину; марганца – 0,1 мг/л; содержание железа – не более 0,3 мг/л, цветность – не более 35 град.

Так же не маловажную роль играет количество соли, имеющейся в воде изначально. В соленой воде проникающая способность ультрафиолетовых лучей низкая, в пресной же воде она намного выше. Так же очень важно следить за чистотой оболочки лампы. Лампу необходимо регулярно чистить от известкового налёта при помощи лимонной кислоты, так как он блокирует излучение.

Ультрафиолетовую лампу при замене запрещено брать руками за стекло, так как отпечатки пальцев оставленные при прикосновении тоже снижают эффект обеззараживания.

Так же важна температура обрабатываемой воды. Ультрафиолетовые лучи эффективнее распространяются в воде при температуре от 40 до 43°C. Если стерилизовать ледяную воду, взятую напрямую из скважины - это не то же самое, лучше производить стерилизацию уже нагретой воды.

Существуют общие рекомендации, для повышения эффективности работы УФ лампы для обеззараживания воды:

- чистая лампа;
- прозрачная вода;

- обязательное обеззараживание мягкой воды (чтобы избежать образования известкового налёта);
- исключить нахождение растворённого железа в воде (чтобы избежать снижения мутности воды);
- обеззараживать тёплую воду;
- использовать лампу как можно дольше;
- скорость воды должна быть как можно медленнее;
- необходимо осуществлять регулярную смену ламп (так как после долгой работы лампа, начинает хуже излучать УФ);
- лампа должна быть максимально мощная;
- вода должна быть менее солёной.

Кишечная палочка — организм, обладающий наибольшей устойчивостью к ультрафиолетовому облучению исходя из этого, определяется эффективность обеззараживания воды данным способом по уровню содержания в ней данных бактерий. Изначально в воде определяют наличие бактерий кишечной палочки и определяют уровень её содержания именно так производится контроль над установками ультрафиолетового обеззараживания воды [23].

Таблица 2.4 – Необходимая доза ультрафиолетового облучения для подавления микроорганизмов

Организмы	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Споры <i>Bacillus subtilis</i>	<i>Giardia</i> , <i>Cryptosporidium</i>
Доза для подавления 99,9%, мВт·с/см ²	10	10	20	20-40

УФ обеззараживание воды — наилучший из вариантов защиты от разнообразных бактерий.

Метод ультрафиолетового обеззараживания имеет преимущества по отношению к окислительным обеззараживающим методам, таким как хлорирование:

Обеззараживание воды УФ также можно использовать в качестве предварительного обеззараживания. Благодаря своей высокой способности дезинфицировать, обеззараживание воды ультрафиолетом позволяет достаточно сократить расходы химических реагентов-дезинфекторов, а также расходы на энергию для обеззараживания воды озонированием, хлорирование и любым другим способом.

– Облучение ультрафиолетом заканчивается летальным исходом для большинства водных микроорганизмов, таких как: вирусы, бактерии, споры и протозоа. УФ облучение уничтожает возбудителей инфекционных болезней таких, как холера, тиф, вирусный гепатит, дизентерия, полиомиелит и пр. Использование ультрафиолетового обеззараживания позволяет добиться более хорошего эффекта, чем хлорирование, особенно в плане избавления от вирусов.

– Обеззараживание УФ происходит благодаря фотохимическим реакциям внутри различных микроорганизмов, исходя из этого изменяется характеристика воды и непосредственно оказывает меньшее влияние, чем обеззараживание при помощи химических реагентов. Также при использовании данного способа обеззараживания допускается использование много разово, высоких доз облучения, а при использовании других способов невозможно, т.к. при превышении верхней границы дозы грозит возможностью попадания реагента в воду.

– Так же когда вода обработана УФ излучением в ней не обнаруживаются токсичные и мутагенные соединения, которые оказывают негативное влияние на биоценоз водоемов.

– Использование ультрафиолетового обеззараживания представляет собой высокую скорость реакции. При обеззараживании с использованием ультрафиолетовых лучей отсутствует необходимость в создании контактных емкостей, т.к. обеззараживание воды УФ происходит в считанные секунды, даже если использовать максимальную дозу облучения.

– Достижения последних лет в электротехнике и светотехнике позволяют обеспечить высокую степень надежности ультрафиолетовых комплексов. Современные ультрафиолетовые лампы и пускорегулирующие аппаратуры к ним имеют высокий эксплуатационный ресурс, а так же их выпуск происходит серийно.

– Применение ультрафиолетового обеззараживания воды считается самым оптимальным методом, так как это экономнее в сравнении с озонированием и другими методами обеззараживания воды которые в разы дороже и экономически не выгодны. Это связано с небольшими электроэнергетическими затратами (в 3-5 раз меньше, чем при использовании озонирования); так же отсутствие потребности в приобретении дорогостоящих реагентов: кальций, жидкий хлор, гипохлорит натрия а также отсутствие необходимости в реагентах для дехлорирования.

– Отсутствует необходимость в создании складов и токсичных хлорсодержащих реагентов, которые требуют соблюдение специальных мер экологической и технической безопасности, т.к. это повышает надежность систем водоснабжения и канализации в целом.

– Так же УФ оборудование компактное и требует минимальную площадь, его возможно внедрить даже в действующие технологические процессы сооружений по очистке не останавливая их работу, при этом объемамы строительного-монтажных работ минимальные.

Основные недостатки обеззараживания воды ультрафиолетом:

– Данный способ не универсальный, так как некоторые микроорганизмы, обладают высокой устойчивостью к ультрафиолетовому излучению. Такое встречается достаточно редко, но в случае, содержания в воде большого количества стойких к УФ облучению вирусов или бактерий обеззараживание воды данным способом может быть использовано только в качестве предварительной меры перед обеззараживанием.

– В бактерицидных установках на эффективность обеззараживания, влияет наличие взвешенных частиц присутствующих в воде. Если в воде присутствует крупнодисперсная примесь, то есть вероятность что она сыграет роль своеобразного щита для различных болезнетворных микробов, которые впоследствии не получают необходимую дозу облучения и, соответственно, не будут обезврежены. Таким образом применение дополнительных этапов водоочистки, предшествующих обеззараживанию воды ультрафиолетом с целью удаление из воды механических примесей становится необходимым условием для полноценного функционирования установки.

– Ещё одним недостатком является то, что вода, которая была очищена под воздействием УФ - лучей способна заново загрязниться во время её транспортировки или же на следующих этапах использования, так как действие УФ обеззараживания является одноразовым и прекращается после потери контакта.

2.5 Технологии ультразвукового обеззараживания

Так же третьим рассматриваемым методом обеззараживания воды является ультразвуковая обработка. Данный метод подразумевает использование кавитации, под воздействием которой происходит разрушение клеточной мембраны. Главными факторами эффективности данного метода являются мощность излучения и длина волны. В некоторых случаях это

бывает достаточно затруднительно, именно поэтому широкое применение нашли комбинированные установки, включающие в себя УФ облучение и облучение ультразвуком. К примеру, серия установок «Лазурь–М» (рисунок 2.17) она используется производством компании «Сварог» (г. Москва), они используют ультрафиолетовое излучение с максимумами 253,7 и 185 нм совмещая их с ультразвуковым воздействием. Данные установки выпускаются в модульном исполнении, их производительность от 0,5 до 50 м³/ч их можно использовать как на промышленных предприятиях, так и в населенных пунктах и даже в отдельных коттеджах [24].



Рисунок 2.17 – Установка для обеззараживания воды комбинированным воздействием ультразвука и ультрафиолетового облучения «Лазурь М 250»

Ультразвук - это волны колебаний высокой частоты (рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 –Шкала распределения частот ультразвука

Скорость распространения упругих акустических волн, распространяемых в воздухе при температуре +25 С° составляет примерно 333 м/сек, а в воде – примерно 1500 м/сек.

Чаще всего используют порог в 20 кГц, данный уровень определяется границей слышимости человеческого уха.

Обеззараживание и очистка воды ультразвуком построена на принципе кавитации – это процесс возникновения в объеме воды большого количества пузырьков, которые образованы газом. Во время быстрого роста их численности, а в последствии разрушение, в жидкой среде возникает резкое местное увеличение температуры и давления. Именно так достигаются необходимые результаты.

Обеззараживание с помощью ультразвука, основан на разрушении оболочки микроорганизмов. Дополнительные немаловажные функции выполняющие образования при кавитации активные радикалы, это ускоряет процессы окисления. В процессе создания ультразвукового излучателя следует учитывать то, что нельзя чрезмерно увеличивать частоту. Кавитация происходит интенсивнее в диапазоне от 18000 до 50000 Гц. Для того чтобы обеспечить обеззараживание воды необходимо обеспечить высокую плотность поля, от 1,5 до 2 Вт на 1 кубический сантиметр объема. Также требуется высокая мощность для того чтобы обеспечить разрушение слоев механических загрязнений.

Санкт-Петербургским институтом озераведения Российской академии наук ФГБУН в 2017 году были проведены опыты воздействия, которое оказывается от влияния ультразвука на клетки сине-зеленых водорослей. При проведении опытов ими было отмечено явление разрушения элементов клетки под действием резкого возрастания амплитуды их вынужденных

колебаний, и кроме того влияния колебаний на внутриклеточные обменные процессы (нарушение фотосинтеза и метаболизма) [25].

1) Состояние клеток плазмолиза до обработки ультразвуком и после:

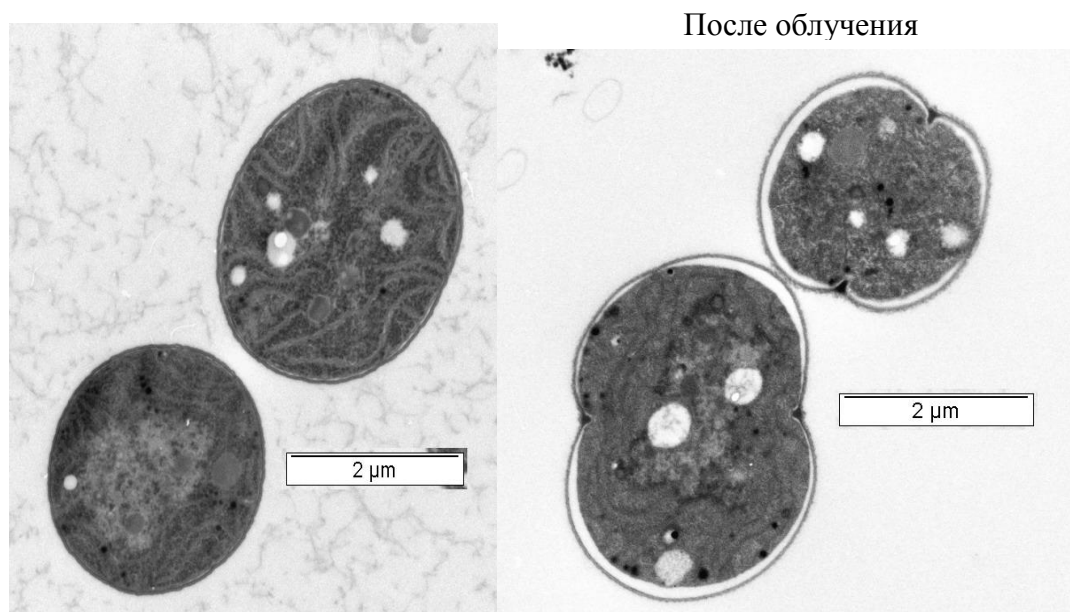


Рисунок 2.19 – Плазмолиз при низкочастотном ультразвуковом воздействии

Газовая вакуоль не подверглась разрушению, а клеточная стенка отошла от цитоплазматической мембраны.

2) Воздействие ультразвука на газовые везикулы:

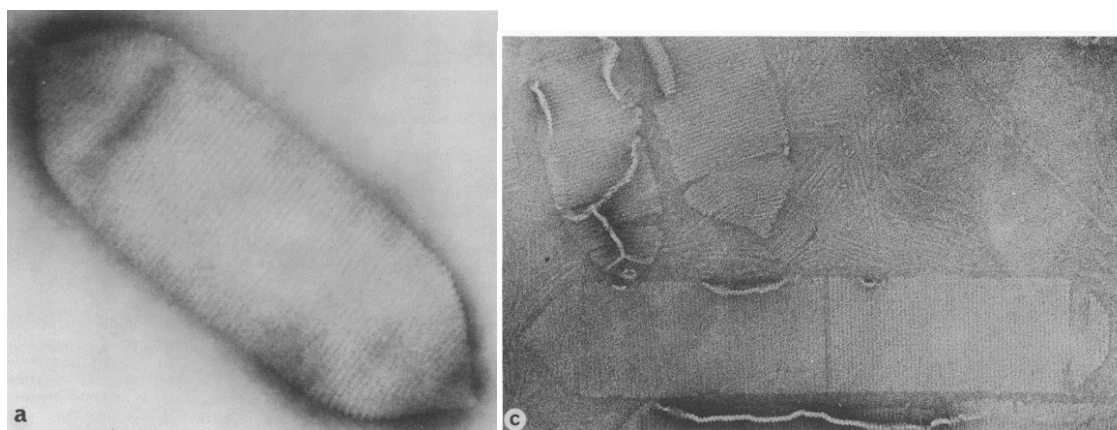


Рисунок 2.20 – Газовые везикулы

Газовые везикулы – это достаточно прочные образования, которые не изменяют своего объема и формы. При особых условиях их оболочка становится нестабильной и сломаться. При воздействии тургора они схлопываются не обратимо.

Везикулы схлопываются при критическом давлении, при котором ($p \sim 2.5 - 8 \text{ атм}$), это зависит от формы самих везикул, освещенности, температуры, pH, и прочих факторах.

Прочность везикул меняется в течение суток:

- min в конце светового дня (+ высокий тургор)
- max в начале светового дня (+ низкий тургор)

3) Пример воздействия ультразвука на водоросли *Spirogyra* представлены на рисунке 21.

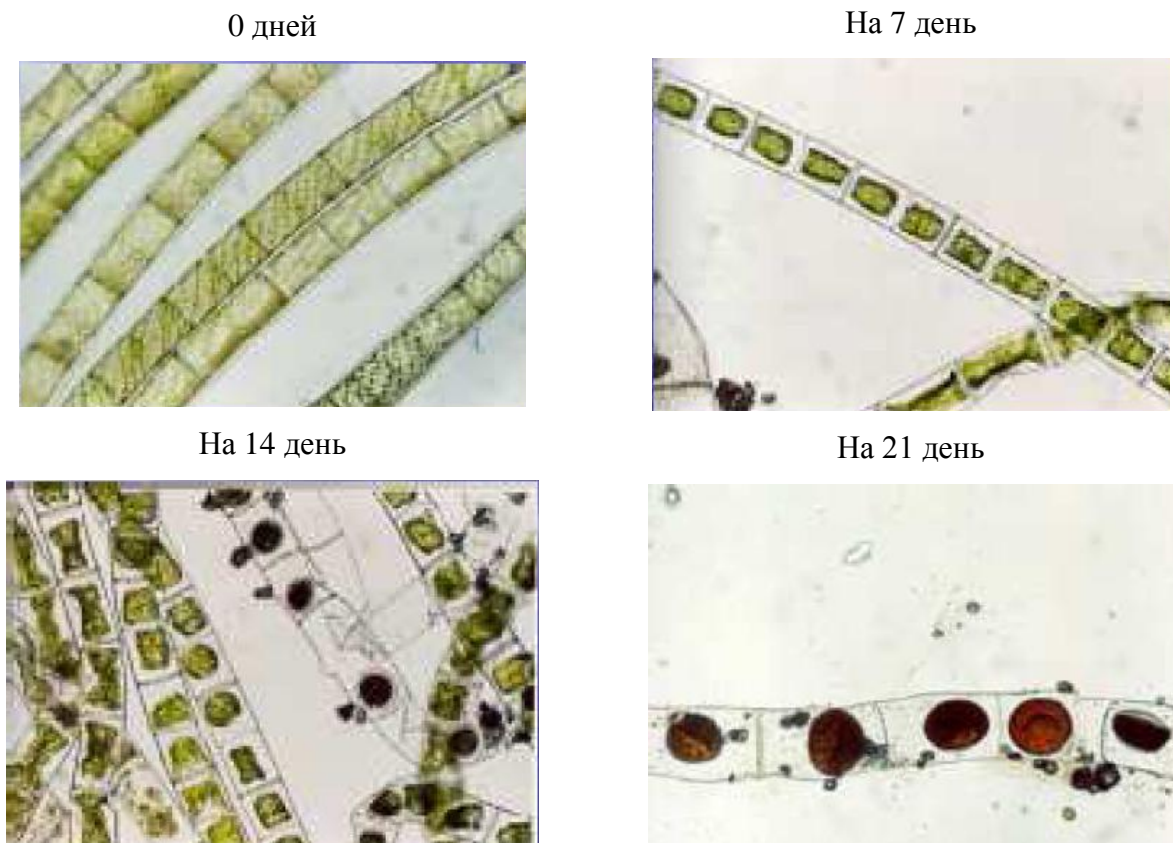


Рисунок 2.21 – Водоросли *Spirogyra*

4) Воздействие ультразвука на клетки цианобактерий

Для оценки данного воздействия была выбрана теоретическая модель, представленная на рисунке 2.22.

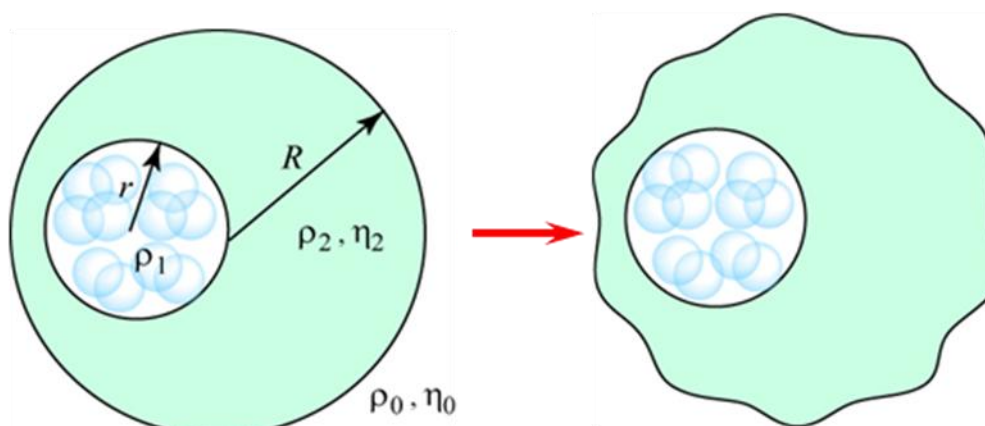


Рисунок 2.22 – Теоретическая модель клетки

Необходимые данные для описания модели:

- натяжение и упругость внешней оболочки
- диапазон размеров R и r
- внешнее и внутреннее давление цианобактерии
- η_0, η_1 вязкость
- ρ_0, ρ_1, ρ_2 плотность

Основным преимуществом данной модели заключается в наличии газового пузырька, который способен пульсировать.

Собственные модели радиальных пульсаций, а так же поверхностных волн на внешней оболочке представлены на рисунке 2.23.

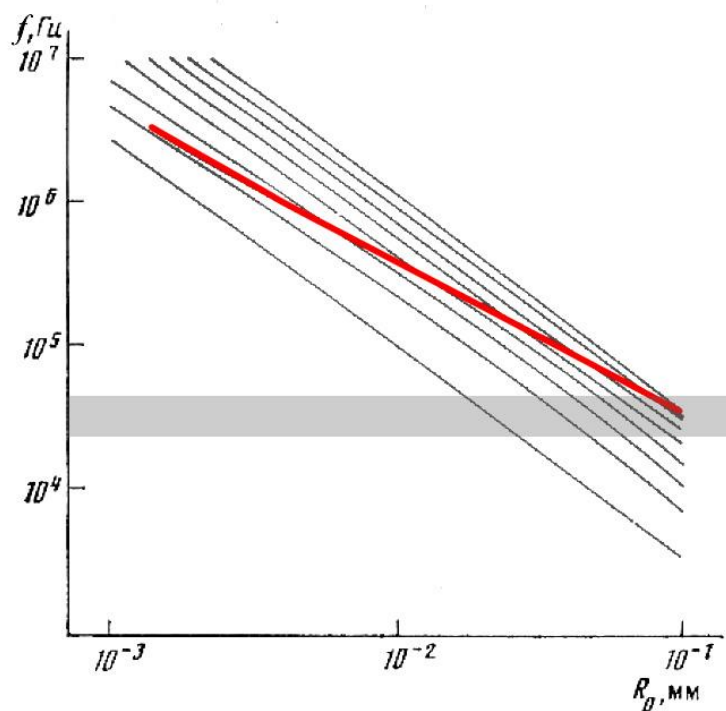


Рисунок 2.23 – Акустический журнал, 34, 6, с. 1023-1027 (1988),
Горский С.М., Зиновьев А.Ю., Чичагов П.К.

Исследования воздействий ультразвука на сине-зеленые водоросли проводились при помощи флуоресцентной спектроскопии штамм водорослей «*Microcystis firma* CALU 398» в результате чего были получены следующие результаты (рисунок 2.24):

- Изменение пиков волн вызвало разрушение связей РНК, отвечающих за усвоение световой энергии;
- Наблюдается угнетенное состояние клеток при облучении с длиной волны около 656 нм;
- При маломощном воздействии предполагается угнетающее воздействие.

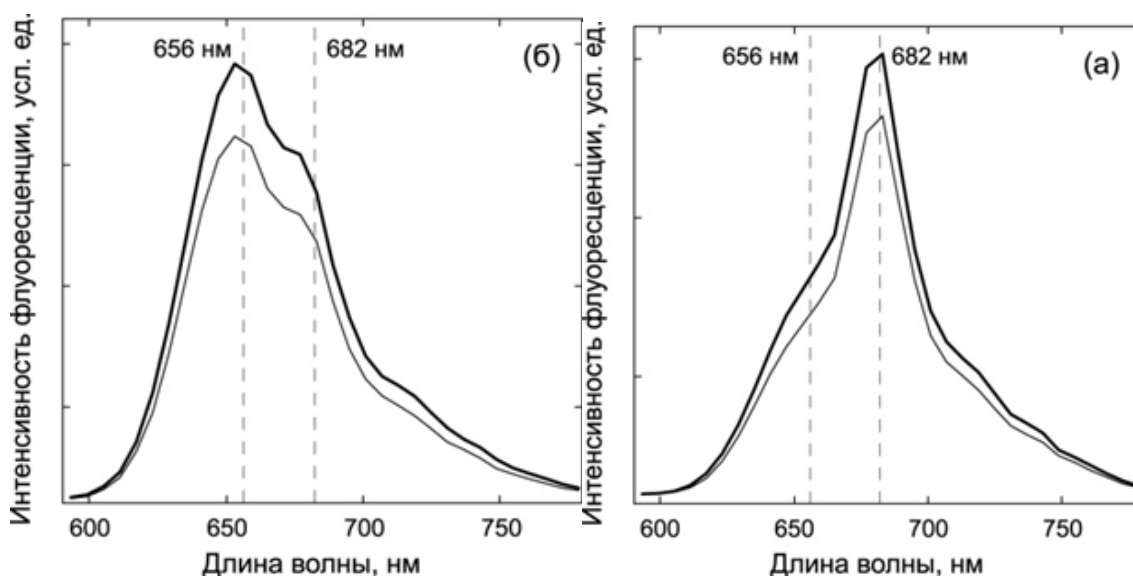


Рисунок 2.24 – Результаты флуоресцентной спектроскопии

В ходе исследований были выявлены следующие достоинства метода:

- воздействие ультразвука не воспринимается бактериями как вмешательство, что предотвращает включение защитных механизмов;
- при УЗ воздействии наблюдается снижение бактерий в водоеме и следовательно улучшение качества воды;
- на происходит разрушения клеточной мембраны, в связи с чем токсичные вещества остаются в клетке.

Так же существуют виды микроорганизмов не подверженных воздействию ультразвуковой обработки представленных на рисунке 2.25.

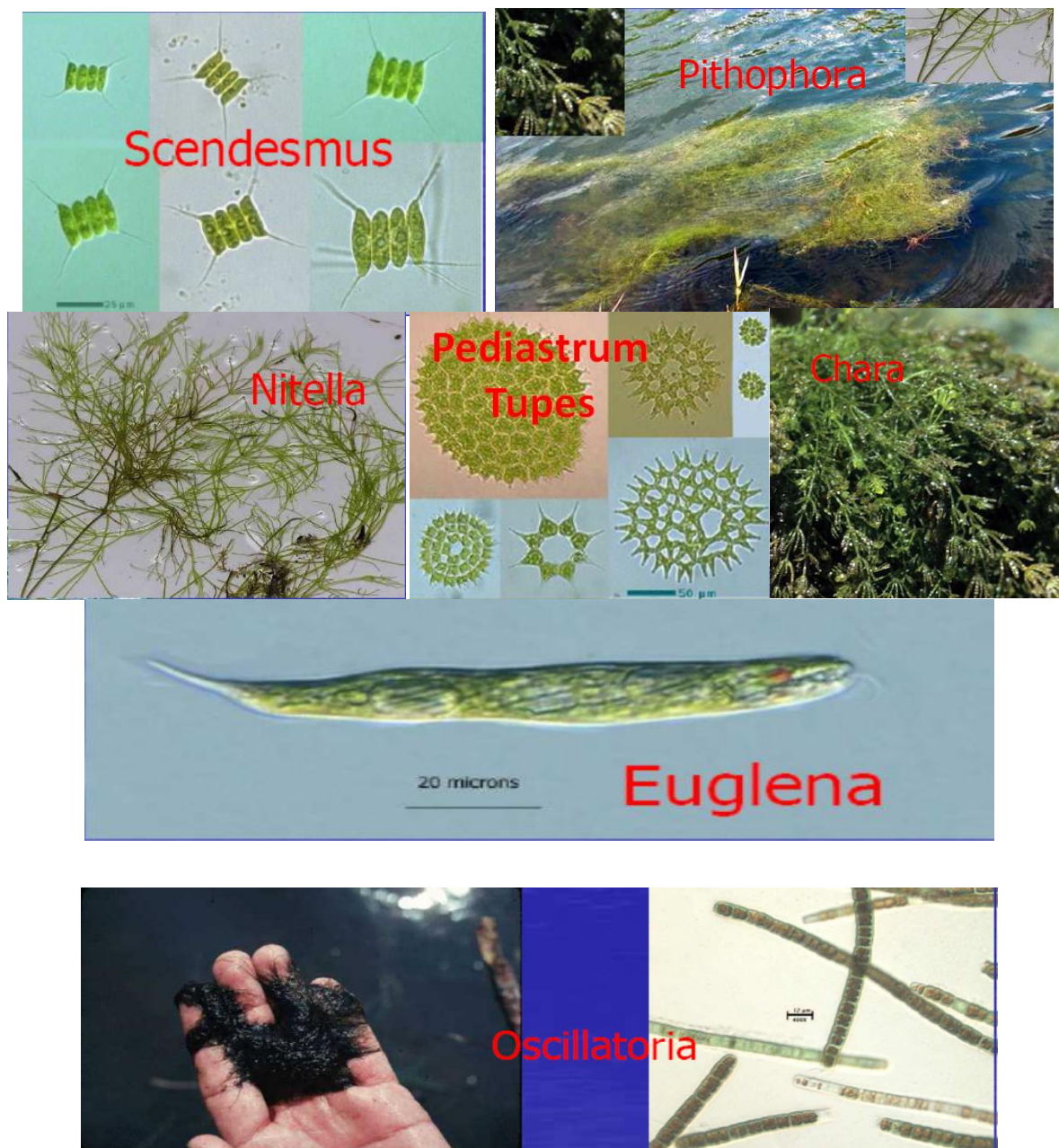


Рисунок 2.25 – Виды водорослей, не подверженные воздействию ультразвука

Обеззараживание воды ультразвуком не сопряжено с излишними затратами на реагенты в сравнение с другими технологиями, довольно эффективен, отличается пролонгированным действием.

Из-за наличия существенных недостатков современных технологий, появились новые исследования в области альтернативных вариантов

обеззараживания воды. Наиболее удачной, с учетом всех важных параметров, считается ультрафиолетовое обеззараживание воды. Проведём сравнение описанного в предыдущем пункте метода с ультразвуковым излучением.

Для достижения необходимого обеззараживающего эффекта, 10 литров жидкости (опытный образец с определенной концентрацией биологических примесей) необходимо облучать с помощью ультрафиолетовых ламп в течение 1 часа. Во время этого процесса было потрачено примерно 0,5 Вт электроэнергии. Схожий результат с использованием ультразвукового излучателя был получен примерно 800 Вт. Мы видим чрезмерные затраты электроэнергии, что является основным недостатком метода. Интересно, что было экспериментально подтверждено увеличение числа микроорганизмов при малых значениях времени обработки и мощности излучения. В этих случаях наблюдалось позитивное влияние на их жизнедеятельность вредных организмов.

Иногда правильное использование метода обеззараживания воды ультразвуком способно обеспечить существенное совместное улучшение полезных параметров (так называемого синергетического эффекта). При проведении УЗ обработки перед облучением УФ, то возможно разрушить крупные механические частицы. В последующем губительное воздействие облучением на микроорганизмы, которые предварительно были размещены внутри подобных фракций, будет мощнее. Однако такие включения намного проще и дешевле улавливать магистральными фильтрами.

Также эффективность ультрафиолетовой обработки существенно уменьшается по мере обрастания наружной поверхности корпуса ламп непрозрачными загрязнениями. Данные образования появляются, например, если соединения кальция и магния, определяющие уровень жесткости воды, присутствуют в исходной жидкости. С нагревом они преобразуются в накипь. Разрушение накипи, удаление ржавчины и других слоев обрастаний

корпуса иногда производится с использованием УЗ оборудования. Методика хорошо отработана и не является новой, однако её применение не обходится без определенных сложностей:

- Отсутствие точной локализации. Для уничтожения вредных отложений быстро, требуется увеличивать мощность излучения, что оказывает разрушительное влияние на пайку, сварные соединения, окрасочные, декоративные и защитные слои;

- Невозможность точного контроля, ввиду отсутствия визуального доступа. Отсутствие проверки хода рабочих процессов приводит к невозможности оптимизации интенсивность обработки, длительности и прочих параметров.

Обеззараживание и очистка воды УЗ методом ограничена в том числе нормами действующих отечественных стандартов безопасности. При эксплуатации установок, использующих в соответствующем частотном диапазоне излучение, расстояние до рабочего места, регламентируется мощность, иные параметры. Общим требованием является необходимость исключения контакта человека с поверхностью, по которой может передаваться ультразвук.

2.6 Выводы по главе 2

Из всего вышесказанного следует, что очистка воды даже от отдельного типа загрязнения очень сложный процесс. Даже если учитывать очистку воды от загрязнений природного характера требуется учитывать несколько различных типов процессов.

При этом следует учитывать преимущества и недостатки каждого отдельного типа установок. Следует учитывать сочетание различных установок для организации полного процесса водоочистки. При этом не существует абсолютно универсальных решений по обеззараживанию воды, так как даже органическое загрязнение отличается в каждом водоемнике.

Для разработки наиболее рациональной схемы водоочистки требуется работать в двух направлениях:

1. Удаление из воды токсичных микроорганизмов;
2. Удаление продуктов жизнедеятельности токсичных организмов, опасных для потребителя.

3 Рекомендации по борьбе с загрязнением природных вод токсичными продуктами жизнедеятельности микроорганизмов

3.1 Анализ существующей технологической схемы водоочистки Автоградводоканал.

Водозаборные сооружения расположены на 1498 км от устья реки Волга в Ставропольском районе Самарской области на левом берегу Куйбышевского водохранилища, западнее села Подстепки на 5 км. Забор воды осуществляется с глубины 18 м. Проектная производительность водозаборных сооружений – 378 тыс.м³ в сутки. Фактическая производительность - 332 тыс.м³ в сутки. Дата ввода в эксплуатацию - август 1970 года. Вода насосами насосной станции первого подъема по 5 ниткам стальных водоводов диаметром 1220мм каждый подается на площадку водопроводных очистных сооружений, «ТЭЦ ВАЗа» Самарского филиала ОАО «Волжская ТГК», на поливные нужды других абонентов.

Технологический состав сооружений:

1. установка УФ-обеззараживания (4 блока);
2. здание реагентного хозяйства;
3. 4 вертикальных смесителя;
4. 4 горизонтальных отстойника с зоной осаждения и зоной взвешенного осадка;
5. 16 открытых скорых фильтров с керамзитовой загрузкой;
6. хлораторная;
7. 4 резервуара питьевой воды (каждый по 20 000 м³);
8. насосная станция 2-ого подъема;
9. станция повторного использования воды с 2-мя резервуарами (каждый по 1000 м³);
10. Система шламоудаления.

Рассмотрим существующую схему водоподготовки ООО «Автоградводоканал» (рис. 3.1).

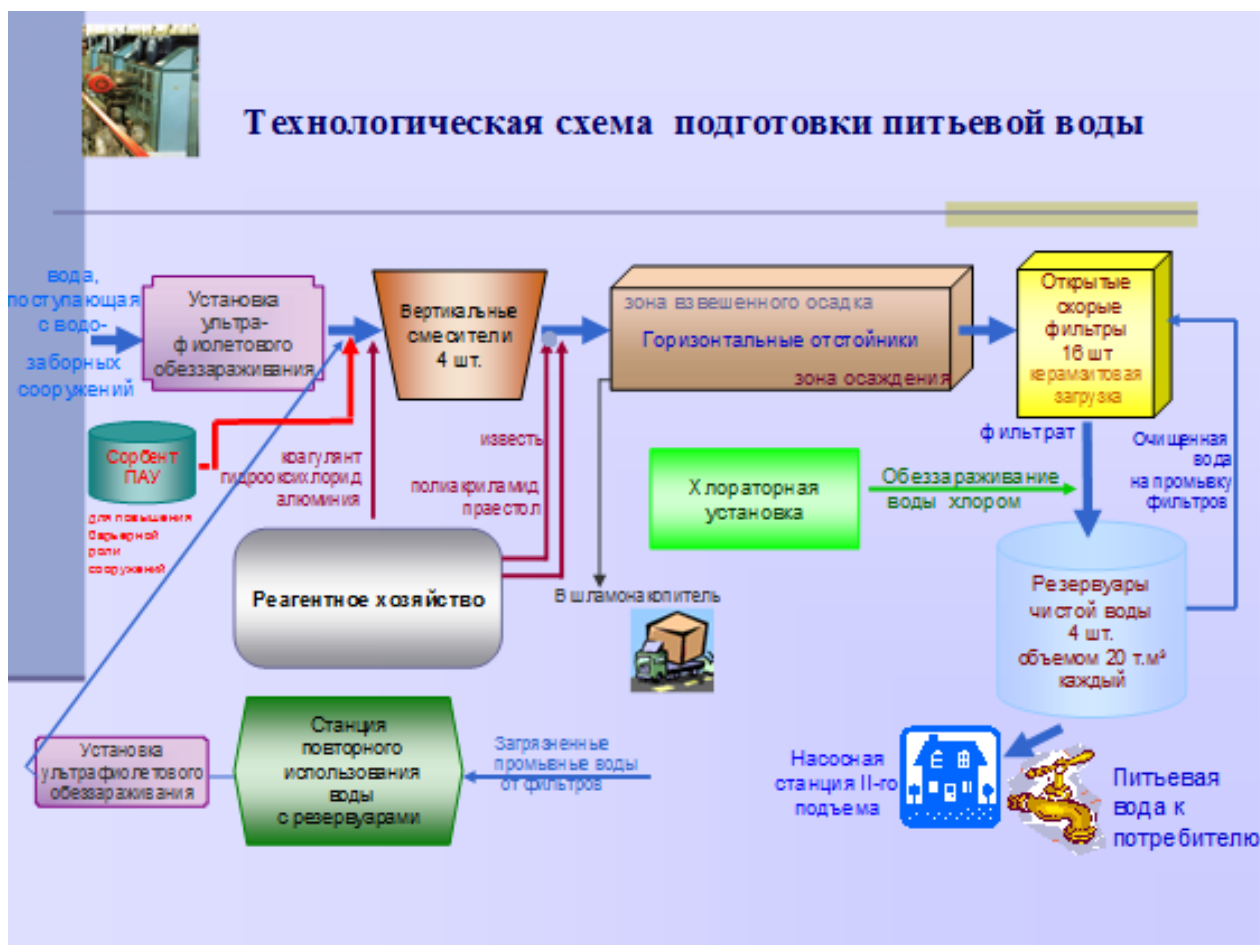


Рисунок 3.1 Технологическая схема применяемая ООО «Автоград Водоканал»

На станции водоподготовки используются такие методы очистки, как: УФ обеззараживание, отстаивание, коагулирование, фильтрация на скорых фильтрах, стабилизационная обработка, обеззараживание воды хлорированием.

Вода после ультрафиолетовой обработки – УФ-комплекса, состоящего из шестнадцати установок ультрафиолетового обеззараживания воды, каждая производительностью до 1 100 кубических метров в час, смонтированных по четыре установки в блоки на четырех технологических ветках, поступает по трубопроводам в смесители. Далее в воду подают коагулянт и в случае

необходимости хлор. На ОСВ в роли коагулянта используется АКВА-АУРАТ. Данный реагент более эффективный в сравнении с сернокислым глинозёмом. Он используется для достижения нормативных требований качества по окисляемости и остаточному алюминию питьевой воды. В периоды малой щёлочности поступающей из источника воды предусмотрено подщелачивание её известковым молоком с технической кальцинированной содой. Для большей интенсивности процесса очистки от взвесей воды, в неё на выходе из смесителей добавляется флокулянт марки ПРАЕСТОЛ. Перед подачей воды потребителям для ее обеззараживания и не допущения ухудшения качеств во время транспортировки, применяется жидкий хлор.

Ниже приведены данные о качестве природной поверхностной воды в Куйбышевском водохранилище. Замеры проводились в 2017 году.

Таблица 3.1 – Превышение ПДК, согласно отчёту по качеству природной поверхностной воды Куйбышевского водохранилища за период с 01.01.2017 г. по 31.12.2017 г.

Наименование показателей	Единица измерения	ПДК	Количество анализов	Концентрация			
				Min	Max	Среднее	
Водородный показатель	ед. рН	6,5-8,5	731	7,45	8,83	7,94	
Перманганатная окисляемость	мг/дм ³	≤ 7	383	4,9	9,2	7,2	
Фенолы	мг/дм ³	≤ 0,001	13	менее 0,0005	0,00120	0,00052	
Марганец	мг/дм ³	≤ 0,1	13	0,010	0,148	0,040	
Цветность	градус цветности	≤ 35	763	19	44	31	
Зоопланктон	экз/м ³	-	54	0	1534	192	
Фитопланктон	диатомовые	кл./см ³	1000	54	менее 1	61	3
	сине-зеленые				менее 1	46	2
	зеленые				менее 1	6	1,3
Термотолерантные колиформные бактерии	КОЕ/100см ³	≤ 100	378	менее 5	240	менее 5	

Многолетние наблюдения ИЭВБ РАН показывают, что качество воды Куйбышевского водохранилища не соответствует нормативам сразу по нескольким требованиям, которые предъявляются к источникам питьевого водоснабжения: по химическому потреблению кислорода (ХПК) и перманганатной окисляемости (ПО) не соответствуют в течение всего года, периодически не соответствуют по запаху, цветности и биохимическому потреблению кислорода (БПК). За период с 2012 по 2013 года изменение ПО колебалось в пределах 5,8 -13,8 мг/дм³, а колебание ХПК находилось в пределах 23-36 мг/дм³ при том, что нормативные значения составляют 5 мг/дм³ и 15 мг/дм³, соответственно.

Во время массового цветения водорослей резко ухудшается ситуация с органическим загрязнением водохранилища, в маловодные годы ситуация становится просто катастрофической. Повышенная окисляемость в летний период связана с ростом числа автохтонного органического вещества (ОВ), что происходит в следствии интенсивного размножения фитопланктона. При этом виды сине-зеленых водорослей (*Microcystis*, *Aphanizomenon* и *Anabaena*), которые доминируют на мелководье, способны к продуцированию токсичных веществ.

В соответствии с данными полученными ИЭВБ РАН во время многолетних наблюдений в Автозаводском районе в различных кварталах установлено, периодическое не соответствие качества питьевой воды требованиям нормативов, которые предъявляются к воде в централизованных системах водоснабжения. Несоответствие было выявлено по таким показателям, как: перманганатная окисляемость (ПО), цветность, запах и содержание остаточного хлора.

При повышенном органическом загрязнении, обеззараживание воды ранее весьма распространенным методом хлорирования приводит к образованию хлорорганических соединений, токсичных для человека и

животных, например, тригалогенметана (ТГМ) – летучих галогенорганических соединений. В результате исследований [26] было установлено, что в фильтрах проб, содержащих сине-зеленые водоросли, после процесса хлорирования наблюдается значительный рост ТГМ, при этом в фильтрах самих водорослей не найдено. Тригалогенметан, скорее всего, образуется в процессе реакции хлора с метаболитами, выделяемыми сине-зелеными водорослями в качестве защитной реакции, или продукты распада их водорослевой массы.

Рассмотрим детально технологическую схему и выявим предположительные слабые места. Вода с водозаборных сооружений поступает на установки ультрафиолетового обеззараживания. После в нее добавляют реагенты (сорбент ПАУ, коагулянт гидроксихлорид алюминия (Аква-аурат), полиакриламид (Преастол)). Качество работы установки ультрафиолетового обеззараживания напрямую зависит от цветности, содержания в воде железа и крупнодисперсных загрязнителей. При данной последовательности будет существенно снижена производительность установки в связи с отсутствием предварительной фильтрации. После установки ультрафиолетового обеззараживания вода вместе с останками отмерших организмов поступает в вертикальные смесители, где смешивается с сорбентом ПАУ (порошкообразный активированный уголь), флокулянт (Аква-аурат) и коагулянт (Преастол). Как показывает практика эффективность сорбента выше после механической очистки, так как поры вещества не забиваются грубодисперсными примесями.

В последнее время для обеззараживания воды часто применяют озон. В отличие от хлора при контакте его с сине-зелеными водорослями не образуются тригалогенметана, однако возможно образование побочных продуктов, таких как формальдегид, ацетальдегид и пр. По сравнению с ультрафиолетовыми установками производительность установки

озонирования в меньшей степени зависят от качества исходной воды, так же установки озонирования помимо органических соединений позволяют бороться с неорганическим загрязнением. Исследования научно-исследовательского института коммунального водоснабжения и очистки воды г. Москва показали эффективность применения озона и активного угля для доведения воды до требуемого качества[27]. В ходе исследований было предложено усовершенствование технологической схемы окского водозабора. Исследования показали, что по отдельности ни обработка озоном, ни обработка коагулянтами и флокулянтами не способны довести воду до требуемого качества, наиболее качественный результат достигался при помощи следующей схемы: предварительное аэрирование-озонирование-коагулирование-сорбционная очистка.

Данная схема применима в большинстве станций водоподготовки. По подобной схеме действует, например, одна из лучших станций водоподготовки в России-Юго-западная (рис. 3.2).

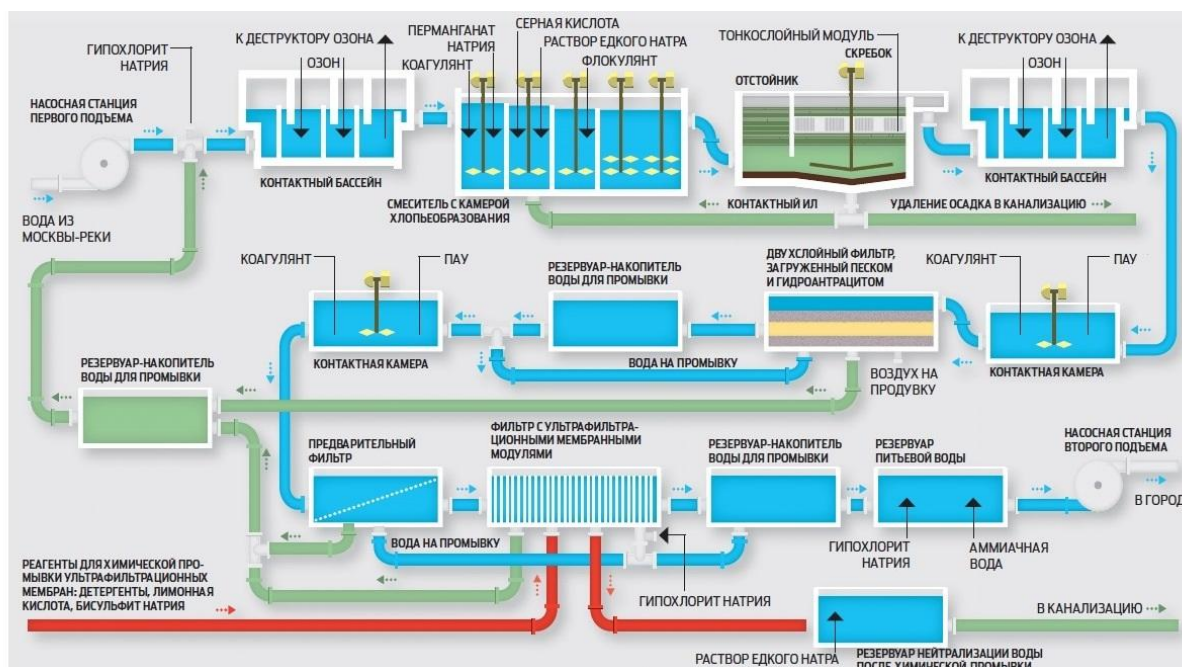


Рисунок 3.2 Технологическая схема подготовки питьевой воды АО «Мосводоканал»

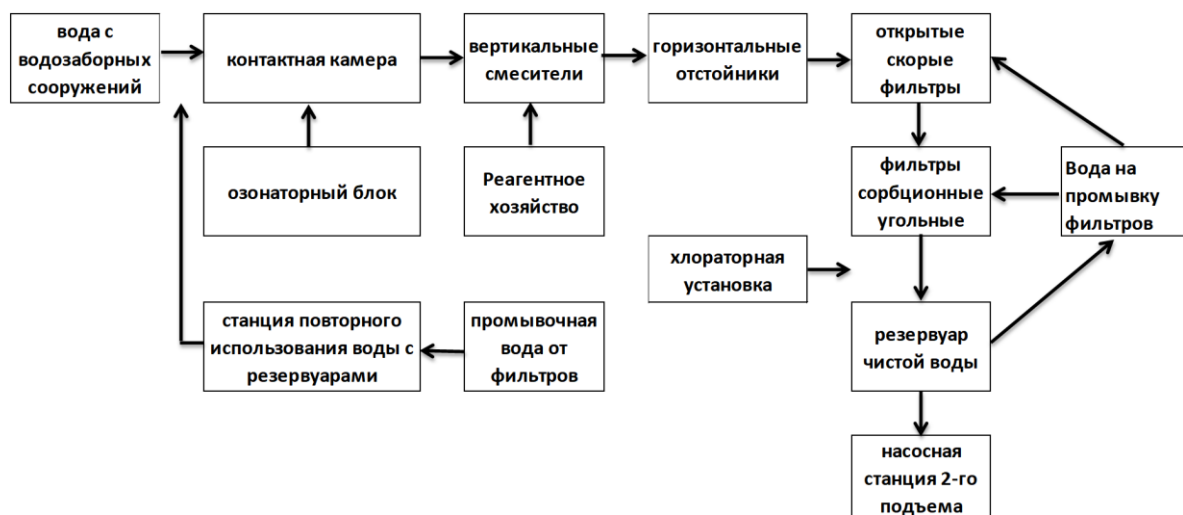


Рисунок 3.2 предлагаемая технологическая схема

Предложенная технологическая схема позволяет с минимальными вложениями улучшить качество воды на станции водоподготовки ООО «Автоградводоканал». Использование озона вместо ультрафиолетовой обработки позволяет помимо органики бороться еще и с частью примесей неорганического происхождения. Добавление в схему сорбционных угольных фильтров помогает доочистить воду от продуктов органического загрязнения и от побочных продуктов обработки воды озоном.

3.2 Рекомендации по очистке водоисточника

Обычно, о массовом развитии цианобактерий свидетельствует ряд факторов:

- 1) высокое содержание в водоисточнике органического и минерального фосфора;
- 2) низкое отношением содержащихся в воде азота к фосфору ($N : P < 25$);
- 3) малое количество дафний, которые способны потреблять цианобактерии;
- 4) высокая концентрация микроэлементов;
- 5) низкая прозрачность воды.

По наличию только одного из выше указанных факторов не свидетельс

Скапливаясь в большие колонии цианобактерии при помощи токсинов и экзометаболитов способны противостоять конкурирующим видам и условиям, кроме того сине-зеленые водоросли, обладают колоссальным потенциалом размножения. Даже после уничтожения 90% бактерий нет гарантии предотвращения цветения.

В процессе жизнедеятельности цианобактерии увеличивают щелочность среды. При этом поглощая в процессе фотосинтеза из карбонатов ионы CO_3 . Накапливающиеся ионы Na^+ и K^+ в щелочную сторону сдвигают показатель pH. В таких условиях цианобактерии в сравнении с конкурирующими видами планктонных водорослей получают преимущество.

Большая часть питательных веществ и зимующие формы сосредоточены в донном иле. Во время цветения эта масса поднимается на поверхность воды. Кроме того существуют формы цианотоксинов, переносимых воздушным путем.

Источниками ресурсов для сине-зеленых водорослей служат сухие корки и другие вещества, поступающие с берегов при изменении уровня воды. Выше перечисленные специфика строения и свойства ставят сине-зелёные водоросли на лидирующие позиции в фитопланктоне водоёмов, и часто позволяют цианобактериям вытеснять почти все прочие виды эукариотических водорослей из планктона.

Сейчас сформировалось представление о цианобактериях, как о биологическом виде, однако до сих пор нет четких рекомендаций по борьбе с их массовым размножением и очистки водоисточников от продуктов их жизнедеятельности.

Работы по поиску оптимальных теоретических и практических путей решения данной проблемы ведутся во всем мире. На данный момент существует 4 направления развития разработок: биологические (развитие

естественных врагов бактерий), биохимические (создание для бактерий неблагоприятной среды при помощи органики), химические (создание для бактерий неблагоприятной среды при помощи специальных средств) и физико-химические (направленные на снижение фосфора).

Биологические методы пресечения развития сине-зелёных водорослей основаны на гипотезе трофического каскада теории биоманипуляции “top - down” (увеличение потребляющих видов и снижение видов, способствующих развитию). К возможным потребителям сине-зелёных водорослей традиционно относят виды растительноядных рыб, а также некоторые виды дафний. В то же время к видам, которые способствуют развитию цианобактерий относят карповых планктоядных, а также бентоядных рыб и некоторых моллюсков, выделяющих в процессе жизнедеятельности питательные для бактерий вещества. Однако, как показывает опыт, только в 20 % случаев данный метод, будет эффективен для предотвращения размножения сине-зелёных водорослей.

Заселение в водоем белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* Val является известным биологическим способом подавления массового развития сине-зеленых водорослей. Несмотря на то, что белый толстолобик давно используется для борьбы с цветением водоёмов. На водоемах России и Венгрии при проведении экспериментов были замечены негативные результаты, однако чаще в водоемах различных стран наблюдались положительные результаты заселения данного вида рыб.

Под биохимическим методом подразумевают мероприятия по внесению в водоем органики, препятствующей развитию цианобактерий. Одним из направлений данного метода является заселение водоема высшими формами водорослей. Перспективными считаются экзометаболиты роголистника *Ceratophyllum demersum* и тысячелистника *Myriophyllum spicatum*. Которые выделяют вещества (например, четыре полифенол),

способные снизить интенсивность деления цианобактерий. Кроме того эффектом от расселения макрофитов является то, что начало процесса цветения воды начинается с прибрежной зоны, заселение которой высшей водной растительностью снижает возможность цианобактерий перехода из донных отложений вверх, а также снижает внутреннюю фосфорную нагрузку благодаря сокращению взмучивания донных осадков. Кроме того макрофиты блокируют часть веществ, поступающих в воду с берегов. Эффективным считается заселение около четверти площади дна водоема.

Ячменная солома является прекрасным материалом, используемым для борьбы с сине-зелеными водорослями (цианобактериями). При разложении солома способна замедлять интенсивность развития многих типов цианобактерий. Научные исследования показали, что вследствие выделения фенольных веществ достигается краткосрочный эффект, а долгосрочный эффект происходит вследствие окислительного распада содержащегося в соломе лигнина. Данный метод успешно применялся по всему миру. Упакованную в трубчатые полиэтиленовые сети или в тюках солому помещали в разных участках водоема и оставляли на длительный отрезок времени. Положительной чертой данного метода является длительность пагубного воздействия на бактерии, которая по разным подсчетам, составляет от 6 до 8 месяцев. Применять солому возможно в водоемах абсолютно любого типа. Применение биохимических методов пресечения развития цианобактерий на данный момент считается самым эффективным и экономичным методом борьбы с цветением водоисточников.

Практически было установлено, что при высоком содержании O₂ в гипolimнионе, происходит увеличение продолжительности донной стадии жизненного цикла сине-зелёных водорослей. Поэтому в последнее время на водоемах Дании и Голландии широко применялся метод обогащения O₂ придонных слоев воды с помощью использования эжекторных и

пневматических аэраторов – известного метода предотвращения развития цианобактерий. Таким образом, аэрирование является эффективным методом в подавлении развития сине-зелёных, но недостаточным.

Применение химических веществ, содержащих олово, калий, медь или хлор (альгицидов) является эффективным способом борьбы с цветением воды. На данный момент имеются сведения о предотвращении роста сине-зеленых водорослей при успешном применении хлорида железа, сульфата алюминия и меди ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Добавление $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в мелководное озеро Коуртиль (Франция) в конце весны позволило добиться сокращения численности цианобактерий, но не предотвратило продолжения их развития. Тогда до образования пленок цветения сине-зелеными водорослями, в середине лета, было принято решение о введении $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. В результате на протяжении двух месяцев в планктоне озера не встречались колонии данного вида бактерий.

Применение химических веществ влечет определенные проблемы:

1. требуется точное определение дозы, при слишком большой или малой в процессе мутаций происходит быстрая адаптация водорослей к изменившимся условиям;

2. применение химических реагентов может негативно сказаться также и на других видах, населяющих водоем.

Альгициды не возможно будет широко применять для борьбы с развитием цианобактерий в поверхностных водоемах пока указанные проблемы не будут решены. Способны эффективно замедлять рост цианобактерий гербициды (симазин, диурон, атразин). Но из-за их отрицательного влияния на водных животных для борьбы с “цветением” воды применение данных химических веществ в настоящее время практически остановлено.

Последовательное снижение азотной и фосфорной нагрузки также в теории помогает снизить содержание цианобактерий в воде. В Финском заливе в результате многолетней кампании по снижению фосфорной нагрузки (60-70%) был получен положительный результат. В Германии в мелководном водохранилище Баутзен в результате откачки донных отложений и, соответственно снижения внутренней фосфорной нагрузки был получен положительный результат. В результате работы установки произошло резкое снижение содержания общего фосфора и увеличению в поверхностном горизонте воды концентрации CO₂. Итогом работы установки стало то, что в 1996 году развитие цианобактерий было предотвращено, в 1997 году цветение было ниже по сравнению с предыдущими годами. Однако не всегда метод оказывался действенным, были случаи, когда оказывалось недостаточным исключительно снижение нагрузки на водоем, это доказывает необходимость комплексного подхода к очистке водоемов от сине-зеленых водорослей.

Для наибольшей эффективности к очистке водоема требуется подходить комплексно, совмещая разнообразные типы очистки. Требуется длительный мониторинг и анализ причин возникновения загрязнений и следовательно комплексный подход к их решению. Это показывают проведенные эксперименты, в которых применялся исключительно методы направленные на предотвращение развития бактерий или на очистку водоисточника для недопущения цветения.

В 2017 году вопрос о наличии микроцистина в воде Куйбышевского водохранилища был поднят на международной научно-практической конференции в Казани. Было проведено исследование водохранилища на содержание микроцистина. Данные представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Содержание микроцистина в Куйбышевском водохранилище

Пункт отбора проб воды	C Σ / C _n
между н.п. Курочкино и н.п. Улитино, граница Республики Татарстан с Чувашской Республикой	5,86
выше г. Зеленодольск (правый берег)	3,34
устье р. Свияги	0,45
1 км выше водозабора г. Казани	8,28
устье р. Казанки	1,14
5 км ниже г. Казани (русло)	1,25
вблизи н.п. Кызыл Байрак, (русло)	0,65
вблизи н.п. Буртасы	20,86
вблизи н.п. Буртасы	22,97
н.п. Макаровка, мелководье	2,83
н.п. Макаровка (2 км от берега)	0,54
Саралинский участок ВКГБЗ (мелководье 1)	0,44
Саралинский участок ВКГБЗ (мелководье 2)	0,28
вблизи н.п. Камское Устье (1 км от правого берега)	26,96
вблизи у. Кирельское	0,21
вблизи н.п. Сюкеево	2,41
вблизи г. Болгар	1,13
ниже г. Тетюши, граница с Ульяновской обл. (мелководье)	2,15
ниже г. Тетюши, граница с Ульяновской обл. (русло)	2,01

Для улучшения ситуации было предложено на законодательном уровне ввести мониторинг токсикологического качества воды и разработка системы раннего предупреждения. Основные мероприятия по улучшению токсикологической ситуации в водоемосточнике было предложено направить на снижение автотрофной нагрузки и предотвращения перехода отложений из донной стадии [30].

Учитывая размеры Куйбышевского водохранилища, наиболее оптимальными решениями по очистке от цианобактерий будут меры, направленные отдельно на очистку притоков и очистку самого

водохранилища. Наиболее важным шагом является уменьшение сбросов сточных вод и улучшение процессов их очистки.

В масштабах водохранилища применение физических методов очистки будет не рационально, а применение химических может нанести непоправимый вред экологии. Таким образом, мы приходим к биологическим и биохимическим методам. Прежде были попытки заселения в водоем планктоноядных рыб в том числе белого толстолобика что позволило незначительно снизить содержание в воде цианобактерий. Причиной тому была, скорее всего, не комплексность решения.

В случае с притоками надо рассматривать каждый отдельный случай и искать пути решения, исходя из состояния и характеристик каждого.

3.3 Выводы по главе 3

Рассмотрев проблему на примере технологической схемы, используемой ООО «Автоградводоканал» и Куйбышевского водохранилища, являющегося источником воды для указанной станции водоподготовки, были даны рекомендации по улучшению действующей технологической схемы и качества воды водоисточника.

Для улучшения технологической схемы было предложено внесение в ее состав установки озонирования вместо установки ультрафиолетового обеззараживания, что повысит эффективность водоподготовки. Для того, чтобы устанить побочные продукты процесса озонирования с схему был добавлен фильтр использующий в качестве фильтрующего материала активный уголь.

Однако без мер по улучшению качества водоисточника отсутствует гарантия того, что качество воды водохранилища не ухудшится. Для снижения количества цианобактерий в водоисточнике с учетом его размеров наиболее эффективными будут естественные методы борьбы. Увеличение количества высшей водной растительности поможет задержать на дне

зимующие формы цианобактерий, а также снизит количество питательных веществ, задерживая их на дне. При этом необходимо снизить поступление в водоем азота и фосфора, поступающих в водоем с дождями и талыми водами, а также в следствии антропогенного воздействия человека. Для этого требуется провести мониторинг эффективности действующих станций водоочистки на всем протяжении водохранилища и его притоков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]. – Введ. 1986-01-01 – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-2761-84> (дата обращения 05.10.2018).

2. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения [Электронный ресурс]. – Введ. 2002-01-01 - Режим доступа: <http://mhts.artinfo.ru/BIBLIO/SNIPS/Sanpiny/2.1.4.1074-01/2.1.4.1074-01.htm> (дата обращения 05.10.2018).

3. Таубе П.Р., Баранова А.Г. Химия и микробиология воды. –М.: Высшая школа, 1983. –280 с.

4. Алимов А. Ф., Бульон В. В., Гутельмахер Б. Л., Иванова М. Б. Применение биологических и экологических показателей для определения степени загрязнения природных вод // Водные ресурсы. 1979. № 5. С. 137–150.

5. Degremont – Технический справочник по обработке воды СПб.: Новый журнал, 2007. – 920 с.

6. Шеховцова, Н.В. Экология водных микроорганизмов: учебное пособие / Н.В. Шеховцова; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ. 2008. –132с.

7. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. 2-е изд., перераб. и доп. – К: Вища шк. Головное изд-во, 1986. –352с.

8. ООО «Издательство ВСТ», журнал «Водоснабжение и санитарная техника». 1999-2013 гг.

9. Издательство: ООО "ИД "Панорама" Журнал Водочистка-№ 07-2016 01/07/16 [Электронный ресурс], Режим доступа: <https://pressa.ru/ru/magazines/vodochistka#/>

10. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

11. Самбурский Г.А., Пестов С.М. Технологические и организационные аспекты процессов получения воды питьевого качества – 2016г. ISBN 978-5-4483-5369-7

12. А. Б. Кожевников, О. П. Петросян Современные системы водоподготовки станций централизованного водоснабжения // Стройпрофиль 2-1-06

13. Феофанов Ю.А. Проблемы и задачи в сфере обеспечения населения питьевой водой // Вода и экология. 1999, № 1.

14. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Моисеев А.В., Кутахин В.Ф., Стефанов С.И., Агафонов Ю.Н. Комплексный подход к решению технологической схемы очистки воды на Окском водозаборе Калуги // Водоснабжение и санитарная техника. 2003, № 8.

15. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Промышленная и эпидемиологическая безопасность при обеззараживании питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2005, № 5.

16. Подковыров В.П., Привен Е.М. Опыт МГП «Мосводоканал» по реконструкции объектов, использующих жидкий хлор // Водоснабжение и санитарная техника. 2004, № 8, ч. 1.

17. Журавлевич, Н. Е. Обеззараживание питьевой воды: метод. рекомендации / Н. Е. Журавлевич. – Минск : БГМУ, 2017 г. – 26 с.

18. Алексеев Л.С., Гладков В.А. Улучшение качества мягких вод. М., Стройиздат, 1994 г.

19. Муллина Э.Р. Химические аспекты процесса хлорирования воды // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12-4. – С. 609-613

20. Сошников, Е.В. Обеззараживание природных вод: уч. пособие / Е.В. Сошников, Г.П. Чайковский. - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. - 111 с.

21. Головачев А.В., Абросимова Е.М. Применение гипохлорита натрия при обеззараживании воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №4. С. 8-12.

22. В.М. Бутин, С. В. Волков, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцев, А.В. Якименко. Обеззараживание питьевой воды УФ – излучением. Водоснабжение, №12 – 96. - <http://www.waterland.ru>.

23 Минц О.Д. Применение ультрафиолетового излучения для обеззараживания питьевой воды//Водоснабжение и сан.техника, 1987, №7.- С.16-18.

24. Фальковская Л.Н. Обеззараживание воды ультразвуком // Водоснабжение и санит.техника, 1958, № 12.

25. Насонов Д.Н., Александров В.Я. Реакция живого вещества на внешние воздействия // Денатурационная теория повреждения и раздражения / М.-Л.: Издат. АН СССР, 1940. -88с.

26. Васильева А.И., Насырова Н.П., Катнор Л.И., Мельницкий И.А., Кантор Е.А. Влияние фитопланктона на образование ТМ. Сборник докладов конгресса ЭКВАТЭК. Под ред. д-ра мед. наук, проф. Эльпинира Л.И., [электронный ресурс]. М-2008. ISBN 978-5-9900677-7-6.

27. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Роль озонирования в свете новых требований к качеству питьевой воды, Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды [электронный ресурс]. М-2007.

28. В.И. Колмаков Токсичное «цветение» воды континентальных водоемов: глобальная опасность и методы ликвидации // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana), 2011, № 19.

29. Порвари М. Эффективные меры по снижению эвтрофикации – успешная история Финского залива: Доклад // АЕWATER, 2017. – 16с.

30. Marsalek B. Non-chemical tools for management of cyanobacterial blooms in reservoirs: Доклад// АЕWATER, 2017. – 47с.
31. Латыпова В.З. Токсикогенные цианобактерии в поверхностных водах Татарстана. Проблема и практическое сопровождение практических путей решения: Доклад// АЕWATER, 2017. – 23с.
32. Raeid, M., Applications of cyanobacteria in biotechnology// Journal of Applied Microbiology 106(1), 2009. – 1-12с.
33. Microbacterian aspects//Guidelines for drinking –water quality, Geneva, 2003. - 121-144с.
34. Microbial fast sheets// Guidelines for drinking –water quality, Geneva, 2003. - 221-296с.
35. Antonio, M., Cianotoxins: New Generation of water contaminants/ Antonio, M., de la Cruz, A., Dionisiou, D// Journal of Environmental Engineering, ASCE, 2005. – 1239-1243с.