

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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 водных микроорганизмов на обработку
природной воды»

Студент

В.О. Ведяпина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.А. Селезнев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы

к.т.н., доцент В.М. Филенков

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Допустить к защите

И.о. заведующего кафедрой к.т.н., доцент В.М. Филенков

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

(личная подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Тольятти 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ	5
1.1 Гигиенические требования и нормативы, предъявляемые к качеству воды	5
1.2 Микробиологическая характеристика источников водоснабжения на примере Куйбышевского водохранилища.....	11
1.3 Характеристика основных микроорганизмов, обитающих в природной воде и их влияние на водозаборно-очистные сооружения	16
1.4 Вывод по 1 главе	39
ГЛАВА 2 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С БИОЛОГИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ.....	40
2.1 Основные технологические схемы очистки природной воды	40
2.2 Технологические схемы, применяемые в России	50
2.3 Хлорирование	56
2.4 Ультрафиолетовая обработка природной воды	64
2.5 Ультразвуковое обеззараживание	73
2.6 Вывод по 2 главе	82
ГЛАВА 3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БОРЬБЕ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПРИРОДНЫХ ВОД МИКРООРГАНИЗМАМИ И ПРОДУКТАМИ ИХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	84
3.1 Проблемы, связанные с водорослями и зоопланктоном.....	84
3.2 Проблемы, связанные с зоопланктоном и цистами простейших	91
3.3 Рекомендации по усовершенствованию схемы водоподготовки, используемой ООО «Автоград Водоканал».....	94
3.4 Рекомендации по сокращению биологического загрязнения	104
3.5 Вывод по 3 главе	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	115

ВВЕДЕНИЕ

Состояние источников водоснабжения в настоящее время вызывает тревогу, что связано с бактериологическим загрязнением, в особенности поверхностных водоёмов. Современные методы очистки ориентированы на удаление вредных бактерий, однако полной деконтаминации не происходит, и водопроводная вода содержит живые микроорганизмы. Бактерии могут служить источником проблем как непосредственно, так и через продукты своей жизнедеятельности - пирогены, нуклеазы или щелочную фосфатазу. Питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом отношении, безвредной по химическому составу и иметь хорошие органолептические свойства. Для осуществления этих требований необходимо изучить влияние водных микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности на обработку воды и разработать оптимальные решения по её очистке.

С целью снятия биогенной нагрузки на источники водоснабжения и улучшения качества питьевой воды была проведена разработка оптимальных решений по усовершенствованию очистки природных вод от микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности.

Предметом исследования диссертационной работы являются методы доочистки природной воды от микроорганизмов и выделяемых ими метаболитов.

Объект исследования данной работы: микробиологическая характеристика источников водоснабжения.

Целью магистерской диссертации является разработка оптимальных решений по усовершенствованию очистки природных вод от микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) Анализ состояния биологического загрязнения и изучение микробиологических нормативов качества воды.

2) Изучение новых методов микробиологической обработки природной воды

3) Разработка рекомендаций, направленных на улучшение очистки воды от микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– в выполнении анализа существующих методов обработки воды, а также состояния и проблем, связанных с биологическим загрязнением источников водоснабжения;

– в описании применения методов обработки воды в ходе которых происходит наиболее эффективное устранение микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности;

– в разработке рекомендаций по борьбе с загрязнением природных вод микроорганизмами и продуктами их жизнедеятельности.

Практическая значимость отражена в оценке эффективности различных способов обработки воды пригодных для борьбы с текущим биологическим загрязнением.

Структура и объем диссертации: Диссертация состоит из введения, трех глав, общих выводов, библиографии из 53 источников. Общий объем 120 страниц машинописного текста, включая 38 иллюстраций и 19 таблиц.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ

1.1 Гигиенические требования и нормативы, предъявляемые к качеству воды

Вода, подаваемая потребителю через распределительную сеть, должна быть обработана до питьевого качества, т.е. соответствовать нормам и требованиям, действующим по отношению к воде, предназначенной для потребления человеком, даже если непосредственно для питьевых целей расходуется лишь малая ее доля.

Действительно, экономически невыгодно устраивать двойную сеть распределения: один водопровод для питьевой воды, а другой — для воды более низкого качества, предназначенной на другие нужды. Следует также учесть высокий риск ошибочных и перекрестных соединений.

Следовательно, необходимо подвергать воду обработке в каждом случае, когда хотя бы один из анализируемых показателей превышает действующие в данной стране нормы.

К поверхностным источникам водоснабжения, предъявляются следующие требования: сухой остаток не должен превышать 1000 мг/дм^3 (значение допускается повышать до 1500 мг/дм^3 в случае, если данное решение согласовано с санитарно-эпидемиологической службой), концентрации сульфатов и хлоридов не больше 350 и 500 мг/дм^3 , общая жесткость не выше 7 моль/м^3 (при согласовании с санитарно-эпидемиологической службой значение допускается увеличивать до 10 моль/м^3), максимальная концентрация химических элементов не должна превышать предельно допустимой (ПДК) для источников хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоснабжения, а также норм предъявляемых к радиационной безопасности.

При наличии в источнике водоснабжения химических элементов, принадлежащих к первому и второму классам опасности и имеющих одинаковые предельные нормы по показателю вредности, сумма отношений концентраций каждого из веществ, обнаруженных в воде к их предельно допустимой концентрации не должна превышать 1. Расчет ведется 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 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ – концентрации обнаруженных веществ, мг/дм³.

Исходя из первоначально состояния источника и качества воды в нём, а также степени очистки которая требуется для доведения воды до показателей, указанных в ГОСТ 2874 водные объекты, подходящие в роли источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, подразделяются на три класса (таблица 1.1) [1].

Таблица 1.1 – Показатели качества воды источников водоснабжения

Наименование показателя	Показатели качества воды источника по классам		
	1	2	3
1	2	3	4
Подземные источники			
Мутность, мг/дм ³ , не более	1,5	1,5	10,0
Цветность, градусы, не более	20	20	50
Водородный показатель (рН)	6-9	6-9	6-9
Железо (Fe), мг/дм ³ , не более	0,3	10	20
Марганец (Mn), мг/дм ³ , не более	0,1	1	2
Сероводород (H ₂ S), мг/дм ³ , не более	Отсутствие	3	10
Фтор (F), мг/дм ³ , не более	1,5-0,7	1,5-0,7	5
Окисляемость перманганатная мгО/дм ³ , не более	2	5	15
Число бактерий группы кишечных палочек (БГКП), в 1 дм ³ , не более	3	100	1000

Продолжение таблицы 1.1

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

Численность одноклеточных организмов измеряется в кл/см³, нитчатых и пленчатых – в мг/дм³.

Безопасность воды, используемой для питьевого водоснабжения в эпидемическом отношении устанавливается ее соответствием требованиям по паразитологическим и микробиологическим показателям, описанным в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Показатели, предъявляемые к качеству питьевой воды [2]

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
1	2	3
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3
Общее микробное число	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 л	Отсутствие

При изучении микробиологических характеристик питьевой воды в каждой взятой пробе определяется количество общих колиформных бактерий, термотолерантных колиформных бактерий, колифагов и общего микробного числа.

При наличии во взятой пробе вышеперечисленных микроорганизмов их наличие в экстренном порядке определяется повторно, во вновь взятых пробах воды. В подобных случаях с целью обнаружения причин загрязнения параллельно берутся пробы для определения наличия в них хлоридов, нитратов, нитритов и аммонийного азота.

Если в пробах, взятых повторно обнаружены данные микроорганизмы в количестве более 2 в 100мл проводится исследование, в ходе которого определяется наличие энтеровирусов и/или бактерий кишечной группы, являющихся патогенными.

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].

Периодичность взятия проб воды и их количество для контролирования качества непосредственно в местах водозабора, отбираемых для исследований в

лабораториях, осуществляются с учетом требований, перечисленных 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

Количество отбираемых для исследований проб и виды показателей, определяемых для питьевой воды перед её поступлением в сеть распределения, осуществляются с учётом требований, описанных в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – 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	
	Численность населения, обеспечиваемого водой из данной системы водоснабжения, тыс. чел.				
	до 20	20-100	свыше 100	до 100	свыше 100
1	2	3	4	5	6
Микробиологические	50	150	365	365	365

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6
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

Бактериологические показатели исходя из которых оценивается качество воды представляют собой часть исследований свойств вод любого происхождения, состава и загрязнённости. Основной задачей этих исследований является гигиеническая оценка состояния воды в отношении эпидемиологической безопасности. Санитарно-бактериологический анализ, осуществляемый с целью оценки качества обрабатываемой воды, заключается в установлении следующих показателей:

1) выявление «микробного числа» или общего числа бактерий (суть заключается в подсчёте количества колоний, состоящих из микроорганизмов, образующихся в течении суток ± 2 ч при температуре в $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ при посеве один миллилитр изучаемой воды в стандартную питательную среду);

2) коли-титр или коли индекс.

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 $+37^\circ\text{C}$ в течение суток [4].

При подсчёте их числа может быть использован как микроскопический, так и бактериологический методы.

Последняя европейская директива закрепляет несколько параметрических величин (введение некоторых из них в действие распределено во времени),

определяемых по критерию влияния на здоровье потребителя, по образцу рекомендаций ВОЗ. По сравнению с первоначальной директивой некоторые показатели исключены, другие изменены в сторону ужесточения (Sb, As, Pb, Ni, полициклические ароматические углеводороды и др.), третьи введены впервые (акриламид, В, Ва, бензол, броматы, тригалогенметаны, метаболиты пестицидов и др.; во Франции к ним добавлены хлориты и микроцистин — токсин водорослей) [5].

Более того, в этой директиве впервые четко определено, что нормы должны быть соблюдены в воде, вытекающей из крана потребителя. Таким образом, не допускается возможности ухудшения качества воды во время ее прохождения через водопроводную сеть.

В то время, как в России подобные нормативные документы отсутствуют.

1.2 Микробиологическая характеристика источников водоснабжения на примере Куйбышевского водохранилища

Куйбышевское водохранилище представляет собой одно из самых крупных в стране по величине полезного объема, который равен 34600 млн. м³. Его нормальный подпорный уровень составляет 53 м, а уровень мёртвого объема 53 и 45,5 м. Площадь зеркала при первом из перечисленных уровней – 6150 км², при втором – 3060 км², соответственно. Данное водохранилище, крупнейшее в Европейской части России и Европы, его полный объем при нормальном подпорном уровне составляет 58000 млн м³.

Ряд исследователей, таких как: Приймаченко, Кожова, Кузьмин и др., изучая процессы продуцирования во вновь созданных водохранилищах в разных климатических зонах подчеркивают факт вспышки первичной продукции именно в начальный период их существования. Такое явление объясняется воздействием затопленного ложа, снижением скорости течений в водохранилище в соотношении с рекой, прогреванием воды, возрастанием глубины проникновения солнечной радиации.

Развитие фитопланктона приводит к перенасыщению водных масс кислородом в конце летнего периода [6]. А к концу августа содержание кислорода идёт на снижение, так как его интенсивно потребляют отмершие водоросли, что в свою очередь может приводить к заморным явлениям. При повышении температуры и штиле на поверхность всплывают интенсивно вегетирующие водоросли, образуя при этом пятна и поля цветения воды. Топачевским отмечено, что при энергичном протекании данного процесса развивается биологическое загрязнение, возникает накапливание продуктов распада водорослей, нехватка кислорода и, в связи с этим, заморы рыб.

В следствии благоприятных гидрометеорологических условий и насыщения воды биогенными элементами в первые годы после создания водохранилищ отмечается обильное развитие фитопланктона [7].

В Куйбышевском водохранилище видовое многообразие фитопланктона довольно обширно. По количеству видов наиболее распространены диатомовые (составляют 36 % от всех видов), зеленые (в количестве 33 %), эвгленовые и сине-зелёные (около 20 %), пирофитовые, золотистые, и жёлто-зелёные в общей сложности составляют 11 % от всех видов.

На сегодняшний день в фитопланктоне Куйбышевского водохранилища зафиксирован 1121 вид: Cyanophyta – 122, Chrysophyta – 84, Bacillariophyta – 314, Xanthophyta – 50, Cryptophyta – 23, Dinophyta – 22, Euglenophyta – 107, Chlorophyta – 399. Основными представителями альгофлоры являются зеленые и диатомовые водоросли.

Существенное размножение фитопланктона в водохранилище сопровождается появлением детрита, который не целиком подвергается деструкции, минерализации и окислению в воде. Каждый год этот избыток осаждается и пополняет собой донные отложения. Согласно последним сведениям Куйбышевское водохранилище находится в эвтрофном состоянии.

За всё время существования водохранилища по биомассе преобладали диатомовые водоросли в северных участках и сине-зелёные в южных, по численности – также сине-зелёные водоросли. В летний период по численности преобладают сине-зелёные водоросли, с апреля по май – диатомовые.

Вплоть до нынешнего времени остаются недостаточно изученными высшие водные растения водохранилища. Согласно различным исследованиям, встречается от 500 до 700 типов сосудистых растений, из которых почти 170 напрямую связаны с водой. Так как экосистема водохранилища сравнительно молодая процесс формирования в нём флоры стремительно продолжается. Замечена значительная группа (около 50) исчезающих и редких видов, которым требуется охрана.

Базовым показателем, отражающим биологическую продуктивность, каждого водоёма является среднее содержание хлорофилла, которое в период открытой воды в разных районах водохранилища изменяется от 12,9 мг/м³ в северном районе до 29,5 мг/м³ в нижнем и 38,1 мг/м³ в устье Черемшанского залива. Пиковая нагрузка приходится на последние летние месяцы в период, когда интенсивно развиваются сине-зелёные водоросли. Содержание хлорофилла ежегодно и сезонно изменяется в зависимости от гидрометеорологических условий. В холодные и многоводные периоды годы водохранилище по среднему содержанию хлорофилла оценивается как мезотрофное, но в жаркие и маловодные – как эвтрофное. В донных отложениях количество хлорофилла изменяется от 40 до 50 мкг/г [8].

На данный момент, по исследованиям А. Ф. Тимохиной, видовое разнообразие зоопланктона, обитающего в водохранилище, насчитывает около 223 видов в том числе Rotatoria -118, Cladocera – 74, Cyclopoida – 19, Calanoida - 12; его концентрация колеблется от 1,4 г/м в Камском плёсе и достигает 41,2 г/м в приплотинном.

Вплоть до формирования Куйбышевского водохранилища состав зоопланктона имел реофильный характер. По численности преобладали коловратки – 32 вида, сравнительным многообразием отличались ветвистоусые

ракообразные – 14 видов, веслоногие рачки не представляли большой роли и существовали в количестве 5 видов.

После формирования водохранилища сложилась новая система зоопланктона из многих биотопов, прудов, рек, болот, озер. В следствии создания непостоянных условий существования из зоопланктона исчезли некоторые экологические группы. Что привело к снижению многообразия видов и установлению монотонного лимнофильного состава.

В сравнении с речным планктоном сократилось видовое многообразие коловраток, возросло количество форм и общее число кладоцер. Не так сильно поменялся состав веслоногих. Ведущими по биомассе среди планктона стали ракообразные.

Сроки возникновения и обильного размножения различных видов зависят от температуры водных масс и наличия пищевых ресурсов. В следствии чего в водохранилище образуются зимний, весенний, летний и осенний комплексы зоопланктона, отличающиеся составом преобладающих видов.

В качестве ещё одной важной особенностью зоопланктона водохранилища следует рассматривать большое количество личинок планктона моллюска *Dreissena polymorpha* Pallas. Условия, в которых питается и размножается этот вид значительно улучшились по сравнению с речными и велигеры стали доминирующей частью зоопланктона, их количество может численность может достигать 680 тысяч экземпляров на м³.

Среди донной фауны основную массу представляют полихеты, олигохеты, хирономиды, моллюски и высшие ракообразные. В бывшем русле Волги среднемноголетняя биомасса макрозообентоса, составляет 20,96 г/м, на затопленной пойме – 4,2 г/м. Олигохеты составляют 54,4% от общей массы донных организмов, хирономиды – 25,6%, моллюски – 14%, ракообразные – 3,2%. За минувшие годы на некоторых участках во много раз увеличилась биомасса полихет (достигла 50%) и ракообразных (достигла 92%) в общей биомассе доступного рыбам корма. Увеличение доли полихет говорит о том, что придонные слои воды и донные отложения находятся в загрязненном

состоянии. Наоборот, численный перевес хирономид демонстрирует достаточно благоприятный кислородный режим слоя воды у дна и поверхностного одно–двух сантиметрового слоя донных отложений [9].

Появление несвойственных для водохранилища видов бореально-арктического происхождения, происходит по течению, с севера на юг, из системы северо-западных озёр. В обратную сторону, из Каспийского моря, идёт распространение эвригаллиных видов организмов, которые обладают устойчивостью к средней и слабой минерализации воды. Среди фитопланктона отмечены четыре инвазионных вида, в зоопланктоне – 24 вида, среди донных сообществ макрозообентоса часть инвазионных видов достигла 69,1% от общей численности и 64,4% общей биомассы бентоса [10].

Экологическое положение водоёма на сегодняшний день расценивается как сравнительно удовлетворительное с умеренно-загрязнёнными водными массами за исключением отдельных участков, находящихся ниже точечных источников сброса сточных вод крупными промышленными предприятиями и испытывающих повышенный антропогенный пресс (таблица 1.5) [11].

Таблица 1.5 – Отчёт по качеству природной поверхностной воды Куйбышевского водохранилища за период с 01.01.2017 г. по 31.12.2017 г. Точка отбора проб - цех ОСВ ООО «АВК»

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	ПДК	Количество анализов	Концентрация		
					Min	Max	Среднее
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Водородный показатель (рН)	ед. рН	6,5-8,5	731	7,45	8,83	7,94
2	Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	≤ 7	383	4,9	9,2	7,2
3	Фенолы (общие и летучие)	мг/дм ³	≤ 0,001	13	менее 0,0005	0,00120	0,00052
4	Марганец	мг/дм ³	≤ 0,1	13	0,010	0,148	0,040
5	Запах	балл	≤ 2	724	1	1	1

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	
6	Цветность	градус цветности	≤ 35	763	19	44	31	
7	Мутность	ЕМФ	34,5	211	менее 1,0	9,6	1,05	
		мг/дм ³	20	924	менее 0,58	4,1	менее 0,58	
8	Температура	°С	-	736	0,8	22,2	8,6	
9	Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	мгО ₂ /дм ³	2	2	менее 0,5	0,62	менее 0,5	
10	Стабильность	-	-	111	0,86	1,10	0,98	
11	Зоопланктон	экз/м ³	-	54	0	1534	192	
12	Фитопланктон	диатомовые	кл./см ³	1000	54	менее 1	61	3
		сине- зелёные				менее 1	46	2
		зелёные				менее 1	6	1,3
13	Термотолерантные колиформные бактерии	КОЕ/ 100см ³	≤ 100	378	менее 5	240	менее 5	
14	Общее микробное число	КОЕ/ 1 см ³	-	367	не обнаружено	488	6,8	
15	Колифаги	БОЕ/100 см ³	≤ 10	40	не обнаружено	9,3	2,1	
16	Взвешенные вещества	мг/дм ³	-	12	1,5	3,9	2,0	

1.3 Характеристика основных микроорганизмов, обитающих в природной воде и их влияние на водозаборно-очистные сооружения

Микробы попадают в водоёмы различными путями: с почвой, смываемой с берегов, сточными водами, органическими остатками. Вода представляет собой их естественное место обитания, в котором они живут размножаются и умирают, выделяя в окружающую среду метаболиты.

Водная микрофлора имеет произвольный характер, но есть в ней и отдельные постоянные виды. Концентрация определенных микроорганизмов в водной среде зависит от ее происхождения.

Подземные источники водоснабжения по содержанию в них микроорганизмов и взвесей чище, относительно поверхностных, так как они фильтруются через толщу почвы. Тем не менее при отсутствии должного ухода вода скважин так же может загрязниться путём попадания в неё вод, просачивающихся с поверхности, которые в свою очередь могут содержать патогенные микроорганизмы.

Микрофлора являющаяся обычной для воды составлена сапрофитами, которые в свою очередь представлены микрококками (до 80% всех аэробных сапрофитных микроорганизмов), железо- и серобактериями, различными грибами, простейшими, водорослями, зоо- и фитопланктоном, зообентосом, актиномицетами, фагами и прочими микроорганизмами.



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

Рисунок 1.1 – Грибы

Кроме них в воду могут попадать и размножаться различные патогенные микроорганизмы, являющиеся возбудителями болезней человека. Заражение поверхностных источников происходит в основном за счёт сброса в них неочищенных сточных вод.



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

Рисунок 1.2 – Морфологические типы бактерий

Чтобы знать, как бороться с микробиологическими отложениями в системах водоснабжения, надо представлять себе, что такое микроорганизмы и каковы оптимальные условия их развития [14].

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

Вода необходима всем живым существам не только как их главная составляющая часть, но и как благоприятная среда для транзита продуктов питания и функционирования пищевых цепочек.

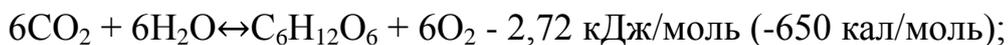
По способу питания живые существа можно разделить на две основные группы: автотрофы и гетеротрофы (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Классификация живых существ по способу питания

Автотрофные организмы способны осуществлять синтез своих основных метаболитов, усваивая неорганический углерод (CO_2 , HCO_3) и даже метан, чтобы синтезировать углеводы, добавляя некоторые минеральные соли: аммиачный или нитратный азот, фосфаты (входящие в состав, РНК и АТФ), микроэлементы и др. Энергия, требуемая для этого процесса, может иметь два источника следующего происхождения:

— солнечная энергия, используемая с помощью пигментов-хлорофиллов фотоавтотрофных организмов (водоросли, водные растения, некоторые редкие фотосинтезирующие бактерии); комплексные реакции этой ассимиляции с помощью хлорофилла, называемой фотосинтезом, происходят подобно реакции образования молекулы глюкозы:



— химическая энергия, получаемая хемоавтотрофами из химических реакций окислительно-восстановительного процесса. Многие из хемоавтотрофных бактерий важны для обработки воды, в особенности:

- нитрифицирующие бактерии: из рода *Nitrosomonas*, которые окисляют аммоний до нитритов, и из рода *Nitrobacter*, которые превращают нитриты в нитраты;

- некоторые ферро- и марганцевые бактерии, которые могут окислять ионы железа и марганца в оксиды и гидроксиды железа и марганца;

- сульфатобактерии (или сульфобактерии), которые окисляют некоторые восстановленные формы серы в свободную коллоидную серу (группа *Beggiatoa-Thiothrix*) или в серную кислоту (группа *Thiobacillus*).

Большинство этих бактерий в основном аэробны, кроме нескольких исключений, живущих в анаэробной среде (некоторые уксусно-кислые и метановые бактерии в процессах метанового сбраживания) [5].

Гетеротрофные организмы могут питаться только уже произведенными органическими веществами в результате деятельности автотрофов или других гетеротрофов, откуда и возникает понятие пищевой цепи.

Гетеротрофы включают в себя все нехлорофилловые организмы: бактерии (кроме хемоавтотрофов), грибы, животные.

Ферменты, необходимые для метаболизма, могут находиться внутри клетки или выбрасываться во внешнюю среду, чтобы разбивать там слишком большие молекулы для их проникновения через клеточные оболочки.

В соответствии с типом дыхания или используемым ферментом акцептором водорода, необходимого для реакций окисления процесса катаболизма, является либо свободный кислород в аэробной среде (например, бактерии активного ила), либо кислород в аноксидной среде, связанный в таких минеральных соединениях, как сульфаты, восстанавливаемые в H_2S и серу сульфоредактирующими бактериями, или нитраты, восстанавливаемые в газообразный азот бактериями денитрификации, либо органические соединения в анаэробной среде (например, метановые бактерии).

Конечными продуктами аэробных реакций являются CO_2 и H_2O , когда процесс находится в аэробной фазе, CO_2 и CH_4 — когда процесс находится в анаэробной фазе.

Наряду со строго аэробными или анаэробными бактериями существуют факультативные анаэробные бактерии; их катаболизм зависит от физико-химических условий среды.

Отношения бактерий с окружающей средой

Скорость размножения бактерий зависит от скорости переноса питательных веществ через оболочку цитоплазмы. Следовательно, эта скорость будет зависеть:

- от концентрации питательных веществ в среде;
- от температуры (от нее зависит скорость диффузии субстрата);
- от соотношения поверхности и объема; однако ввиду их маленького размера (от 0,4 до нескольких микрон) у бактерий это соотношение выше, чем у всех других организмов; этим объясняется то, что в очень благоприятных случаях можно наблюдать клеточное деление в течение 15-30 мин.

Бактерии живут и активно размножаются исключительно в условиях, являющихся для этого благоприятными: достаточное количество питательных веществ, величина рН, уровень содержания соли, температуре. Благоприятный окислительно-восстановительный потенциал довольно изменчив, в зависимости от того, работают ли бактерии в аэробных или в анаэробных условиях. Эти условия тесно связаны с составом ферментов, выделяемых бактериями. Значительные изменения в характеристиках среды могут вызвать селекцию видов.

Бактерии в зависимости от оптимальной температуры для своих ферментов можно разделить на термофильные (температура выше 50°C), мезофильные (температура около 30°C), психрофильные (от 0 до 15°C) и криофильные (от -5 до 0 °C).

Некоторые виды бактерий могут образовывать споры — клетки с замедленной жизнью и такой структурой, которая гораздо лучше переносит, например, жару и засуху. Когда условия становятся нормальными, споры прорастают и снова порождают активные бактерии.

Целая популяция бактерий может адаптироваться путем селекции и мутации к медленным изменениям состава субстрата, которым она питается.

Значение водных микроорганизмов в обработке воды

Существует целый комплекс организмов, приспособленных к жизни в воде. Они составляют водную флору (растительную и бактериальную) и фауну. Каждый организм играет свою роль в поддержании сложного равновесия, складывающегося в водных экосистемах, где сосуществуют продуценты (автотрофы) и потребители органических веществ или организмов (гетеротрофы). Однако, активное водорослей в следствии биогенного загрязнения может принести вред ее потребителям. В частности, водоросли и водные растения при стечении благоприятных обстоятельств, путём фотосинтеза, могут начать активно размножаться, создавая при этом огромные массы органики, что в свою очередь оказывая неблагоприятное воздействие на качество водоисточников и работу очистных сооружений.

Бактерии

В царстве бактерий сосуществуют автотрофные и гетеротрофные (преимущественно редуценты) организмы. Последние имеют метаболизм, аналогичный метаболизму бактерий, находящихся в активном иле и в пленках биологических фильтров.

Водоросли

Водоросли могут быть плавающими (фитопланктон) или прикрепленными к субстрату (лерифитон).

В случаях обильного цветения микроскопических планктонных водорослей их концентрации легко достигают нескольких десятков тысяч особей на миллилитр воды, при этом вода приобретает интенсивную окраску (зеленого, синезеленого или коричневого цвета — в зависимости от доминирующих видов). При определенных условиях они образуют на поверхности сплошной слой, так называемые пятна цветения (некоторые цианобактерии и др.) [15].

На водопроводных станциях насыщенная микроскопическими водорослями вода должна обрабатываться сравнительно высокими дозами коагулянта; большую часть водорослей устраняют до фильтрования, так как иначе повышается риск быстрого засорения фильтров. Водоросли, оставшиеся в очищенной воде, повышают концентрацию в ней органических веществ, что приводит к снижению концентраций остаточного хлора и растворенного кислорода и благоприятствует развитию микроскопических животных, питающихся водорослями. Поэтому необходимо практически полное удаление водорослей из воды перед ее подачей потребителю.

Перифитон (включающий микро- и макроводоросли) представляет собой помеху при обработке воды, поскольку развивается на стенках оборудования (часто требуется особое покрытие, если вода не содержит остаточного окислителя).

Водоросли синтезируют не только свои вещества, но также выделяют в водную среду соединения (метаболиты), которые в случае обильного

размножения водорослей вызывают осложнения при очистке питьевой воды, а именно:

— влияние на процесс обработки: повышение потребности в коагулянте, появление тригалогенометанов, ингибиторов флокуляции, растворенного газа приводят к увеличению объема осадков в отстойниках или к резкому падению напора в фильтрах, росту плесени, которая забивает фильтры и вызывает последующую их флокуляцию в сети распределения воды;

— придание воде привкусов и в особенности запаха; здесь следует отметить:

- летучие вещества — внеклеточные метаболиты, выделяемые различными типами водорослей (а также актиномицетами), являющиеся причиной специфических запахов, например:

- геосмин: запах почвы и плесени;

- 2-метилизоборнеол: запах почвы и плесени;

- гексаналь и гептаналь (запах рыбы);

- другие вещества: запахи ароматических веществ, травы, гнили; спектр таких веществ весьма разнообразен, и преобладающий запах зависит от доминирующей группы водорослей (таблица 1.6);

- некоторые фенольные соединения, секретлируемые цианобактериями: они реагируют с хлором и являются причиной привкуса хлорфенола;

- некоторые продукты разложения мертвых организмов (в частности, сернистые соединения);

- выделение токсинов: случаи токсичности, вызываемой водорослями в пресной воде, почти всегда связаны с массовым развитием цианобактерий, которые могут вырабатывать различные типы токсинов;

- токсины, вызывающие кожные поражения (острые дерматиты) и конъюнктивиты у купальщиков;

Таблица 1.6 – Характер привкуса и запаха, вызванного водорослями

Класс водорослей	Основные роды водорослей	Количество водорослей	
		умеренное	обильное
1	2	3	4
Цианобактерии, или сине-зелёные водоросли, Cyanophyceae	Anabaena, Aphanizomenon, Gloeotrichia, Gomphosphaeria, Microcystis, Oscillatoria	Травяной, почвенно-плесневый	Гнилостный, «лекарственный», травяной, плесневый, пряный
Chlorophyceae	Chlamydomonas, Chlorella, Cladophora, Closterium, Cosmarium, Eudorina, Pandorina, Pediastrum, Scenedesmus, Spirogyra, Staurastrum	Травяной	Травяной, плесневый, рыбный
Bacillariophyceae, или Diatomea	Asterionella, Cyclotella, Diatoma, Fragilaria, Melosira, Stephanodiscus, Synedra	Травяной, пряный, гераневый	Рыбный, плесневый
Chrysophyceae	Dinobryon, Mallomonas, Synura	Фиалковый, рыбный, огуречный, плесневый	Рыбный
Euglenophyceae	Euglena	—	Рыбный
Dinophyceae, или Dinoflagellata, или Peridiniea	Ceratium, Peridinium	Огуречный, рыбный	Гнилостный, «лекарственный», рыбный
Cryptophyceae	Cryptomonas	Фиалковый	Фиалковый, рыбный

- нейротоксины: алкалоиды, вырабатываемые родами Anabaena, Aphanizотепоп, Oscillatoria и др. Самые известные из них — анатоксин-а и анатоксин-а(s), а также сакситоксин и неосакситоксин. Последние, кроме того, являются основными токсинами, выделяемыми морскими водорослями Dinoflagellata; эти токсины воздействуют на нервную систему и могут вызвать быструю смерть, парализуя дыхательную и сердечную мускулатуру;

- гепатотоксины: циклические полипептиды, вырабатываемые различными сине-зелёными водорослями (Microcystis, Nodulana, Anabaena, Oscillatoria и т. п.); их названия образованы от названий водорослей, из которых

они были впервые извлечены: [микроцистин, нодулярин]. В зависимости от полученной человеком дозы, нейротоксины могут вызвать разрушение гепатоцитов с тромбообразованием (смерть через несколько часов), или расстройство работы печени (смерть через несколько дней), или, через длительный срок, рак печени.

Классификация водорослей основана в первую очередь на составе пигментов водорослей, в которых хлорофилл может маскироваться другими пигментами: каротином, фикобилином, фикоцианином, фикозритрином, затем на морфологии клеток, запасаемых веществах и наличии жгутиков. Классификация позволяет упорядочить огромное разнообразие этих организмов, представленное более чем 2000 родов, многие из которых содержат десятки видов [5].

Зоопланктон

Разнообразие видов зоопланктона в пресных водах обычно невелико: при большом числе особей в озерах и прудах, в реках он редко бывает представлен.

Тело планктонных животных прозрачно. Оно обладает отростками, позволяющими удерживаться в толще воды и плавать более или менее активно. В зависимости от степени волнения поверхности воды планктон может находиться на различной глубине. Кроме того, происходит суточная вертикальная миграция планктона в связи с изменением освещенности. Размер животных сильно варьирует.

Одни группы представлены только микроскопическими организмами (простейшие, коловратки), другие — животными, достигающими величины в несколько миллиметров (ракообразные). Питаются они водорослями, бактериями, органическими остатками, а также поедают друг друга. Численность зоопланктона подвержена сезонным изменениям и зависит от количества фитопланктона [16]. Действительно, в реках или в водохранилищах (водоемах) можно наблюдать размножение водорослей после того, как зоопланктон, питающийся водорослями, уничтожен токсичными химикатами.

Кроме трех вышеназванных групп есть животные, личинки которых ведут планктонный образ жизни, а зрелые особи прикреплены к какому-либо субстрату. Они могут образовывать значительные скопления, закупоривающие трубопроводы (как, например, моллюск *Dreissena polymorpha*), или затруднять процесс фильтрации на некоторых сооружениях (моллюски, губки, мшанки). Яйца, цисты или личинки могут проходить сквозь фильтры и развиваться в дальнейшем (примеры: олигохеты, нематоды, ракообразные, двукрылые насекомые).

Особенно благоприятны для развития мелких беспозвоночных две среды обитания [17]:

— активированный уголь в гранулах, представляющий собой отличный материал, который удаляет остаточные дезинфицирующие вещества и адсорбирует питательные органические вещества;

— системы распределения воды (трубопроводы, резервуары), в особенности если:

- распределяется вода без содержания остаточного хлора;
- проведенная ранее обработка не была достаточно полной (например, остались планктонные микроводоросли, которые послужат в дальнейшем пищей для микроскопических животных);
- не проводится должное обслуживание системы (промывки, слив воды).

На активированном угле и в системах распределения воды могут развиваться все группы малых беспозвоночных, в частности:

- простейшие;
- коловратки;
- ракообразные

Поскольку они достаточно велики (от 0,8 до 1,2 см), их присутствие в водопроводной системе вызывает постоянные жалобы потребителей;

— личинки насекомых, особенно двукрылых: *Chaoborus*, *Tipula*, различные виды хирономид, один из которых (*Paratanytarsus* sp.) примечателен тем, что способен к партеногенезу и неотении (личинки откладывают яйца, не

достигая состояния взрослого летающего насекомого, и могут заселять систему так же, как черви или ракообразные).

Перечисленные выше организмы проявляют повышенную устойчивость к хлору, варьирующуюся в различных группах (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Микроорганизмы имеющие повышенную устойчивость к хлору

Микроскопические беспозвоночные	C, мг/л·Т, мин
Oligochaeta	От 30 до 60
Веслоногие и ветвистоусые	От 60 до 500
Nematoda	От 200 до 3000
Asellus aquaticus	Порядка 10 000
Личинки хирономид	Порядка 10 000

Патогенные микроорганизмы

Далее пойдет речь о живых организмах, для которых, в противоположность предыдущей категории, паразитизм является общей характеристикой и которые способны к размножению в другом организме-хозяине (в частности, человеческом), вызывая при этом более или менее тяжелые нарушения его здоровья. Для них вода — лишь средство распространения и переносчик заражения, хотя их выживаемость в воде ограничена. Существуют следующие организмы с различной устойчивостью: наиболее устойчивы формы, образующие споры или цисты; часть вирусов или бактерий находят убежище в теле паразитов; некоторые черви образуют личиночные формы, развивающиеся в одном или в нескольких промежуточных хозяевах, обитающих в водной среде (моллюсках, ракообразных или рыбах). Их выживание также зависит от физико-химических условий среды, наличия хищников и т.д.

Патогенные микроорганизмы, обнаруживаемые в подлежащей обработке воде, могут быть самыми разнообразными. Их определение и устранение требуют применения различных методов.

Патогенные организмы можно подразделить на следующие главные группы: вирусы, бактерии, грибы, простейшие.

Вирусы

Вирусы — мельчайшие патогенные агенты, видимые только с помощью электронного микроскопа, которые могут размножаться лишь внутри живой клетки. Вскоре после того как клетка была атакована вирусом, она целиком превращается в зернистую массу, состоящую из новых вирусных частиц, готовых заразить очередные клетки.

В воде могут обнаруживаться следующие вирусы:

— энтеровирусы, входящие в группу пиковирусов («пико» — малый), которая включает многие десятки различных видов, в том числе:

- вирус полиомиелита, поражающий нервные центры;
- вирус ЕСНО (Enteric Cytopathogenic Human Orphan virus), вызывающий кишечное заболевание; некоторые серологические типы могут вызывать лимфоцитарные менингиты (обратимые);

- вирусы Коксаки А и В, вызывающие лимфоцитарные менингиты, респираторные заболевания, миалгии или миокардиты; они также могут вызывать детские гастроэнтериты;

— вирус гепатита А — в некоторых жарких регионах, где вирус выживает в воде дольше, чем полиовирусы и ЕСНО-вирусы, эта болезнь является эндемической. Данный вирус также один из самых устойчивых к хлору;

— калицивирусы, включая, в частности, вирус Norwalk (гастроэнтериты) и вирус гепатита Е;

— аденовирусы, поражающие верхние дыхательные пути и глаза, а также присутствующие в кишечнике;

— реовирусы, вызывающие диарею, высыпания на коже и заболевания верхних дыхательных путей;

— ротавирусы, обнаруживаемые во многих случаях гастроэнтеритов; причиной загрязнения поверхностных вод часто является домашний скот;

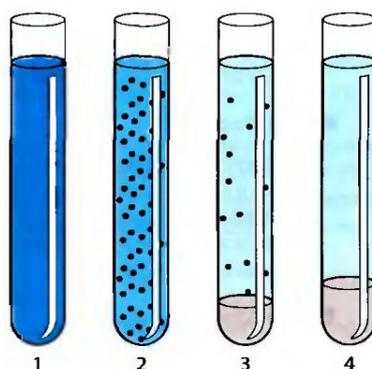
— вирус папилломы.

Когда в воде присутствуют вирусы, они, как правило, обнаруживаются в незначительном количестве, поэтому перед анализом необходимо проводить концентрирование воды.

Бактерии

Некоторые виды бактерий также являются патогенными. Кроме того, существуют микробы, обычно не болезнетворные, но проявляющие некоторую патогенность при благоприятных условиях среды или случайном проникновении в необычно для них местообитание.

Виды бактерий определяют после их выделения. Бактерии выращивают на специфических питательных средах, тестируют химическими реактивами или при помощи реакций сероагглютинации. Это позволяет выявить все их биохимические, цитоплазматические и мембранные характеристики, а также вирулентность (рисунок 1.4).



1. Контрольная проба

2-3. Агглютинация

4. Осадок

Агглютинация бактерий определяется по образованию оседающих сгустков микроорганизмов. Это показывает, что тестируемая бактерия соответствует используемой специфической сыворотке и позволяет, таким образом, идентифицировать ее.

Рисунок 1.4 – Пример тестов сероагглютинации

Систематический контроль бактериологического качества воды с целью проверки на отсутствие болезнетворных микробов проводят косвенным путем, проверяя только отсутствие бактерий, характерных для фекального загрязнения.

Методики, применяемые для анализа воды, как правило, основаны на методиках, используемых в медицине. Дополнительная трудность, присущая анализам водной среды, заключается в сильном разбавлении искомых

микроорганизмов, а также в том, что, пребывая в воде, они могут находиться в состоянии стресса. Так что выделение бактерий требует особых методов их концентрирования на мембранных фильтрах и «оживления» (методами инкубации при разных температурах).

Из основных патогенных бактерий, попадающих в окружающую среду от носителей и передаваемых через воду, следует упомянуть:

1. Enterobacteriaceae

— бациллы брюшного тифа и паратифа:

- бацилла тифа, или бацилла Эберта: *Salmonella typhi*;
- бациллы паратифов А и В, *Salmonella paratyphi* и *S. schottmuelleri*

соответственно;

— бациллы дизентерии, такие как:

- *Shigella dysenteriae* и *Sh. paradysenteriae*;
- *Shigella flexneri*, или бацилла Флекснера (псевдодизентерия, эндемическая форма заболевания);

— *Escherichia coli* (обычно называемая кишечной палочкой), причина колибактериоза. Существуют различные штаммы, из которых одни безвредны (*E. coli* входит в состав кишечной микрофлоры и служит индикатором фекального загрязнения), а другие патогенны и вызывают дизентерию, инфекции мочевого тракта и менингит новорожденных. Штамм O157:H7, особенно болезнетворен (есть смертельные случаи в США, Канаде, Шотландии).

2. Vibrionaceae

— холерный вибрион (*Vibrio cholerae* или *V. comma*), вызывающий эпидемии холеры, одна из главных тому причин — недостаточное обеззараживание питьевой;

— *Aeromonas hydrophila*: гастроэнтериты и диарея.

3. Spirillaceae

— *Campylobacter* (*C. jejuni*, *C. coli*), является причиной энтерита у человека, настолько же серьезной, как и сальмонеллы или *E. coli* O157:H7;

— *Helicobacter pylori*: вызывает гастроэнтериты, язвы и раковые опухоли пищеварительного тракта.

4. Pseudomonadaceae

— синегнойная палочка (*Pseudomonas aeruginosa*), вызывает диарею.

5. Различные группы

— *Proteus morganii*, вызывающий диарею, особенно в летнее время у детей;

— *Proteus vulgaris*, вызывающий диарею, катар кишечника и другие инфекции;

— *Listeria monocytogenes*, вызывающая листериоз (поражает центральную нервную систему, кровь, мозговые и слизистые оболочки);

— золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*), вызывающий многие кожные заболевания и пищевые отравления (нарывы, фурункулез, интоксикации), поэтому воду бассейнов проверяют на его отсутствие;

— легионеллы (главная из них — *Legionella pneumophila*)

Инфекции, вызванные этими бактериями, бывают двух типов: острая пневмопатия (легионеллез) и более легкая ее форма (лихорадка Понтиака). Бактерии способны размножаться в горячей воде. Скорость их развития оптимальна при 35 °С и замедляется при температуре выше 55-60 °С;

Помимо известных патогенных бактерий, хорошо изученных клинически, следует упомянуть оппортунистические микроорганизмы, которые могут представлять особую опасность для индивидуумов с иммунной недостаточностью. Таковы, например, бактерии, принадлежащие к родам *Yersinia*, *Aeromonas* или *Mycobacterium*.

Крайне отрицательное свойство этих микробов, в противоположность упомянутому ранее, состоит в их приспособленности к водной среде. Так, они могут размножаться при температурах, близких к 0°С, и при сильном разбавлении органического субстрата. Подобные условия водной среды имеются в сетях распределения.

Грибы

Один из микроскопических грибов, *Histoplasma capsulatum*, иногда разрастается в канализационных трубах и коллекторах. Он является возбудителем гистоплазмоза.

Простейшие

1. Амебы

Саркодовые, к которым относятся и амебы, могут существовать в воде более месяца в форме цист диаметром от 10 до 15 мкм. Многие виды амеб, переносимые водой, играют важную роль в развитии патологий, в том числе у человека:

— *Entamoeba histolytica* — строго паразитический вид, возбудитель амебной дизентерии, иногда смертельной;

— *Naegleria gruberi*, *N. fowleri* и *Acanthamoeba polyphaga* — свободноживущие амебы, иногда проявляют патогенность в подогреваемой воде.

2. Жгутиковые

В данной группе следует обратить внимание главным образом на принадлежащую к дипломонадам *Giardia lamblia* (также называемую *G. intestinalis*, *G. duodenalis* или *G. enterica*), повсеместно вызывающую различные гастроэнтериты (лямблиоз), передаваемые водой. Лямблия широко распространена ввиду многочисленности здоровых носителей. Ее устойчивость к дезинфекции значительно повышается в инцистированной форме. Цисты овальной формы имеют размеры 8-16 мкм в длину и 6-9 мкм в ширину. Они достаточно хорошо устраняются во время обработки флокуляцией при оптимальных дозах реагента с последующей быстрой фильтрацией через песок.

3. Споровики

В этом типе простейших имеется много паразитов - «эмергентов», способных к новообразованиям, особенно в отряде кокцидий (*Cryptosporidium*, *Cyclospora*, *Isospora*, *Toxoplasma*). Их инцистированные формы (ооцисты) трудно удалить обычными способами.

Их можно назвать одним из двигателей развития методов очистки питьевой воды и технологий обеззараживания озоном или ультрафиолетовым излучением, а также обработкой на мембранах микрофльтрации или ультрафльтрации.

— *Cryptosporidium* (*C. parvum*), возбудитель криптоспоридиоза, образует ооцисты почти сферической формы диаметром 3-6 мкм; они заметно меньше, чем цисты *Giardia* (рисунок 1.5). Хлор практически не оказывает действия на ооцисты, а озон устраняет их лишь при концентрациях, существенно превышающих обычно допустимые нормы. Только «мультибарьерная» обработка, сочетающая отделение твердых частиц (по возможности с использованием мембран) и обеззараживание (O_3 и/или УФИ), сможет обеспечить эффективную защиту потребителей;

— *Cyclospora* (*C. cayetanensis*): сферические ооцисты диаметром 8-10 мкм, способны заразить человека, после того как они образуют споры. Для заболевания характерны те же симптомы, что и при криптоспоридиозе. Как и остальные споровики, ооцисты *Cyclospora* весьма устойчивы к хлору;

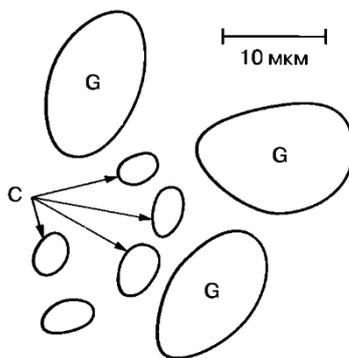


Рисунок 1.5 – Сравнительные размеры цист *Giardia lamblia* (G) и ооцист *Cryptosporidium parvum* (C)

— *Toxoplasma* (*T. gondii*): жизненный цикл данного паразита проходит у двух хозяев: это млекопитающие (в том числе и человек) или птица в качестве промежуточного хозяина и хищник семейства кошачьих в качестве постоянного хозяина. Токсоплазма вызывает заболевание головного мозга у младенцев и больных СПИДом. Эффективность обработки воды для устранения токсоплазмы мало изучена;

— Microsporidia — отряд споровиков, многие роды которых патогенны: Eпterocytozoon (E. bienewisi), Eпcephalitozoon (E. intestinalis), Nosema (род, паразитирующий также на насекомых), Pleistophora, Trachipleistophora, Vittaforma и род Microsporidium, который нуждается еще в уточнении. Эти организмы образуют овальные споры длиной 1-5 мкм. Симптомы заболевания и группы риска те же, что и для Cryptosporidium. Для споровиков не имеется достаточно эффективных методов обеззараживания, если не считать технологии с использованием мембран.

Уровень загрязнения источников водоснабжения колеблется в широких пределах. Чем дальше от береговой линии, тем чище вода, в одном миллилитре может находиться лишь десятки или вовсе – единицы бактерий. В то время как в прибрежных зонах вода загрязнена намного сильнее и в ней находятся сотни и тысячи микробов.

Вода в большом количестве содержит растворённый кислород, который в процессе фотосинтеза выделяют водоросли. В связи с этим в ней имеют место процессы окисления. Ближе ко дну водоёмов кислорода становится меньше и окислительные процессы протекают медленнее. Результатом этого наблюдается образование ила, продукта неполного окисления органических веществ, который плотно населён микроорганизмами. В большом количестве они находятся на поверхности ила (таблица 1.8).

Таблица 1.8 – Зависимость качества воды от содержания в ней микроорганизмов [12]

Оценка водоема	Количество микробов в 1 мл воды
Очень чистые	До 10
Чистые	До 10 ²
Умеренно чистые	До 10 ³
Загрязненные	До 10 ⁴
Грязные	До 10 ⁵
Очень грязные	10 ⁶ и более

Вещества, которые выделяют микроорганизмы в процессе своей жизнедеятельности (метаболиты), как и сами микроорганизмы, становятся причиной снижения качества воды, в особенности в водоисточниках с небольшой скоростью течения. Возможны также нарушения в работе гидротехнических сооружений. Наиболее часто мы можем заметить проявления жизнедеятельности микроорганизмов, затрудняющие процесс самоочищения в водоёмах, эксплуатацию водозаборов и систем охлаждения, в виде цветения водоёмов, обрастаний на стенках труб, появления запаха и привкуса у воды.

Цветение, которое вызывают сине-зеленые водоросли, особенно значительно по размеру и влиянию. При их массовом отмирании прослеживается резкое возрастание количества бактерий-минерализаторов и резкое нарушение санитарного режима водоёма. Также, в процессе жизнедеятельности, они выделяют особые вещества, являющиеся токсичными для человека. При образовании их в значительных скоплениях нарушается работа водоочистных сооружений, например, закупорка фильтров. А небольшие размеры этих водорослей, в районе 4-7 микрон, делают использование микропроцеживания неэффективным. Они образуют на фильтрах слизистую водонепроницаемую плёнку, что ведёт к необходимости частой промывки.

Жизнедеятельность микроорганизмов создаёт помехи в работе очистных сооружений, которые состоят в появлении запахов и привкусов, так же не устраняющихся современными схемами очистки. Основная роль в развитии запахов воды принадлежит аминам, органическим кислотам, фенолам, эфирам, альдегидам, кетонам.

Работе сооружений технического и питьевого водопровода наносят большой ущерб микроорганизмы обрастаний. Они оседают на стенках труб, вызывая их сужение или засорение. В теплообменных установках нарушается режим теплообмена. Так же микроорганизмы обрастаний часто вызывают коррозию металлов, а продукты их выделения, например, диоксид углерода, могут вызывать коррозию бетона.

Отмечались случаи, когда массовое развитие железобактерий в речных водах вызывало полную парализацию систем водообеспечения.

Железобактерии – микроорганизмы которые оседают на стенках труб, и окисляют находящееся в воде железо, образуя при этом малорастворимый гидрат окиси железа. Если в воде наблюдается обильное развитие данного типа бактерий она приобретает запах, привкус металла и ржаво-красный окрас.

Для избавления от подобного рода обрастаний применяется разнообразная химическая обработка (такая как хлорирование, озонирование и т.д.) и промывка горячей водой.

В воде, поступающей на водопроводные очистные сооружения, содержатся и микроорганизмы, для которых водоём является естественной средой обитания. В ней могут обнаруживаться и патогенные формы. Их наличие делает необходимым обеззараживание воды [18].

Микробиологическая коррозия

В течение последнего времени микробиологическая коррозия является объектом углубленных исследований. Коррозию этого вида можно определить, как взаимодействие микроорганизмов с материалами, вызывающее коррозию этих материалов или ускоряющее механизмы действующей коррозии (наиболее часто наблюдаемый эффект). Она часто проявляется в форме быстрого локализованного воздействия и может приводить к преждевременному повреждению элементов конструкции.

Микробиологическая коррозия наблюдается во многих ситуациях. Ниже описываются наиболее распространенные случаи коррозии данного вида.

1. Кислотопродуцирующие бактерии

Большое число видов бактерий в ходе своего метаболизма вырабатывают неорганические или органические кислоты. Происходящее при этом снижение величины рН вызывает ускорение процессов химической коррозии. С микробиологической коррозией стали часто связывают бактерии видов *Thiobacillus*, *Thiooxidans* и *Clostridium*. *Thiobacillus* и *Thiooxidans* способны окислять серосодержащие соединения до серной кислоты, тогда как бактерии

Clostridium образуют органические кислоты (снижение величины pH и комплексообразующее действие на железо).

2. Бактерии, вызывающие коррозию железа и марганца

К бактериям этого типа относятся виды *Gallionella*, *Sphaerotilus*, *Crenothrix* и *Leptothrix*. Они окисляют до трехвалентного состояния (Fe^{3+}) эндогенные ионы двухвалентного железа Fe^{2+} , присутствующие в растворе. Эти бактерии способствуют коррозии, облегчая протекание ее под отложениями. Однако необходимо напомнить, что вызывать или облегчать окисление восстановленных ионов металлов могут также и многие другие процессы, например, хлорирование, и наличие растворенного кислорода.

3. Бактерии, образующие биопленки

Биопленки образуют многие виды бактерий. Эти пленки содержат воду, связанную с внеклеточными полимерами. Биопленки способны быстро разрастаться, захватывая другие материалы: коллоиды и прочие продукты распада. Под этими биопленками развивается коррозия:

- под любыми отложениями путем дифференциальной аэрации;
- в результате ассоциации с другими коррозионно-активными анаэробными бактериями;
- потенциал нержавеющей стали в биопленках может возрастать.

4. Нитрифицирующие бактерии

Нитрифицирующие бактерии образуют группу микроорганизмов, способных в ходе своего метаболизма преобразовать аммиак (NH_3) или нитриты (NO_2^-) в нитраты (NO_3^-). Наиболее известными видами таких бактерий являются *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. Эти микроорганизмы способствуют коррозии путем снижения значения pH, происходящего в результате преобразования аммиака в азотную кислоту.

5. Водоросли

Водоросли способны расти только в условиях достаточной освещенности. При благоприятных условиях они могут образовывать плотные волокнистые покровы, засоряющие трубопроводы и создающие условия, которые

способствуют развитию бактерий под этим покровом. Эти толстые слои биомассы иногда чрезвычайно трудно уничтожить с помощью биоцидных реагентов. При разложении погибших водорослей образуются органические кислоты, обладающие коррозионным действием. Покров, состоящий из погибших водорослей, может распадаться на крупные фрагменты, способные закупоривать протоки, находящиеся ниже по течению.

Простейший способ борьбы с разрастанием водорослей состоит в проектировании сооружений таким образом, чтобы избежать наличия источников естественного освещения.

Идентификация микробиологической коррозии

Иногда оказывается затруднительным с полной определенностью утверждать, что наблюдаемые повреждения материала являются результатом микробиологической коррозии. Одно только присутствие бактерий, потенциально способных вызывать коррозию, не является доказательством того, что именно они ответственны за наблюдаемую коррозию. Соответствующее заключение должно опираться на наличие следующих четырех факторов:

- присутствие микроорганизмов или продуктов их жизнедеятельности;
- вид поверхности, характерный для микробиологической коррозии;
- специфические продукты коррозии и отложения;
- окружающая среда, совместимая с жизнедеятельностью микроорганизмов [5].

1.4 Вывод по 1 главе

Исходя из аспектов, рассмотренных в первой главе можно сделать вывод о том, что биологическое загрязнение не воспринимается как первоочередная проблема в сфере обработки природной воды.

Это видно, как на этапе анализа нормативных документов в которых норма указана только на фитопланктон и патогенные бактерии, так и на этапе рассмотрения проблем, вызываемых микроорганизмами в существующих системах водоснабжения. Что влечёт за собой необходимость изучения современных методов борьбы с биологическим загрязнением и оценки его эффективности.

ГЛАВА 2 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С БИОЛОГИЧЕСКИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

2.1 Основные технологические схемы очистки природной воды

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 требований, регламентируемых СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» [2].

Вода из естественных водоисточников должна подвергаться предварительной водоподготовке (очистке и обеззараживанию). В качестве основных методов водоочистки применяют:

- улучшение цвета вкуса и запаха путём: осветления, обесцвечивания и дезодорация;
- обеззараживание исходной воды с удалением патогенных микроорганизмов путём хлорирования, УФ-обеззараживания, ультразвукового обеззараживания;
- кондиционирование минерального состава путём фторирования, обезжелезивания, умягчения и обессоливания [19]

Осветление воды представляет собой удаление из нее взвешенных веществ (таблица 2.1 и рисунок 2.1), с применением такого оборудования как: отстойники, гидроциклоны, осветлители, фильтры с различным слоем загрузки, тканевые фильтры.

Обесцвечивание воды осуществляется путём устранения из воды различных растворённых в ней органических веществ. Такой эффект достигается при помощи коагулирования, хлорирования, озонирования, сорбции и др.

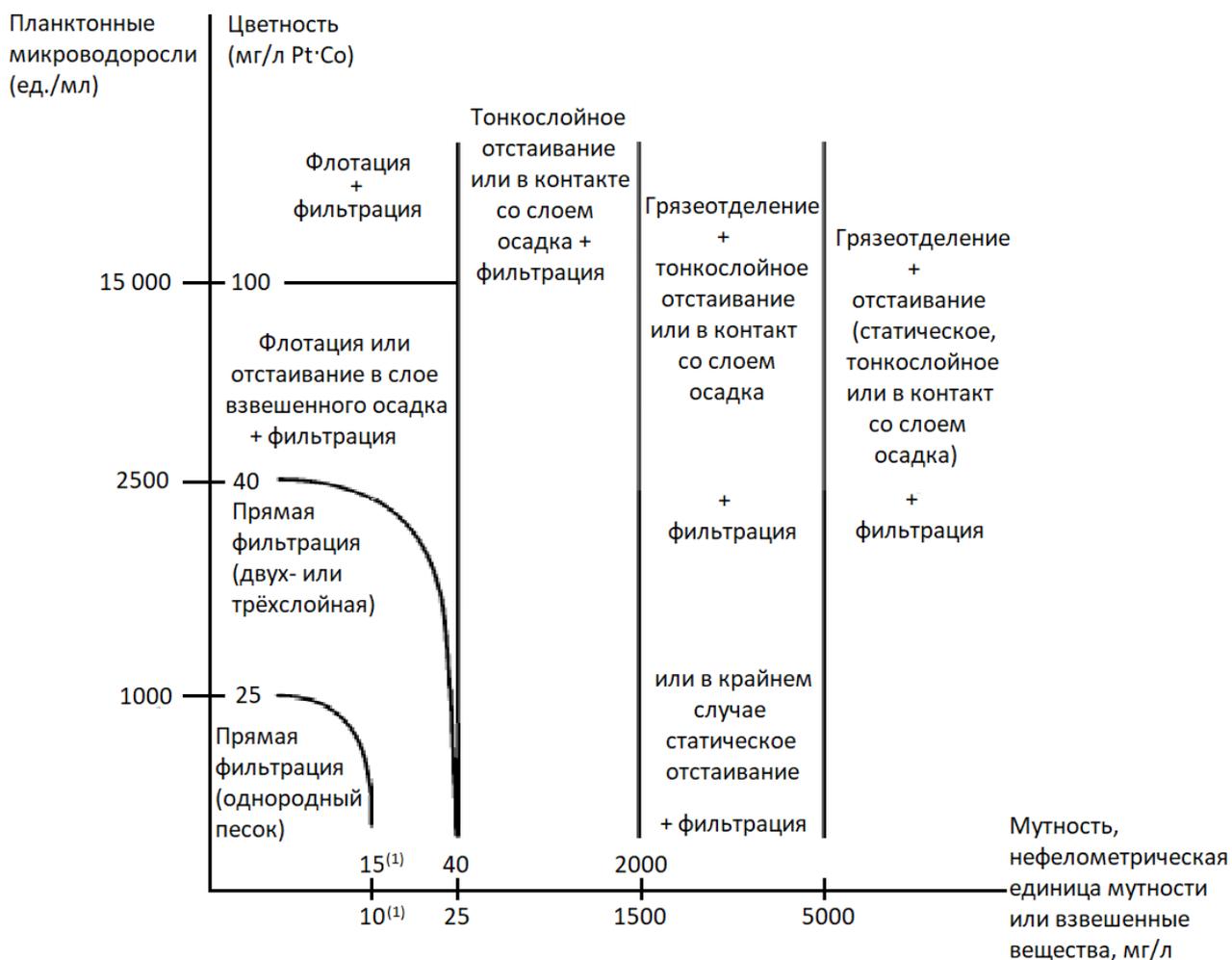


Рисунок 2.1 – Рекомендации по выбору технологической линии осветления

Обеззараживание (дезинфекция) – это процесс, который производится для удаления содержащихся в воде патогенных микроорганизмов. Зачастую для решения этой проблемы применяется хлорирование, однако вероятны и другие способы – УФ-обеззараживание, ультразвуковая обработка и др.

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 [20].

Таблица 2.1 – Сводная таблица способов осветления (если присутствие водорослей и цветность незначительны) в технологических линиях обработки питьевой воды

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 или органический (катионный) ²	
100мг/л	Отстаивание в одну ступень в отстойнике со взвешенным слоем осадка ³	Минеральный коагулянт [соли Al(III), Fe(III)] и/или органический коагулянт ² (катионный полимер) + флокулянт (полиэлектролит анионный или неионный, альгенат, активный кремнезём)	
25мг/л			
10мг/л	Коагуляция на двухслойном фильтре или двойная фильтрация ⁴		
10мг/л			
1мг/л	Коагуляция на песчаном фильтре		

¹ При значительной концентрации взвешенных частиц размером 150мкм песколовка размещается перед грязеотделителем

² Когда такой продукт разрешён для применения

³ В случае присутствия используется пескочловка, задерживающая частицы размером более 100мкм

⁴ В некоторых условиях при концентрации взвешенных веществ до 100мг/л применима двойная фильтрация

Фазовое состояние, характеризующееся дисперсностью веществ, является наиболее характерным признаком примесей воды. По словам Кульского Л.А. фазово-дисперсное состояние водных примесей обуславливает их поведение в процессе водоподготовки. К каждому из состояний можно подобрать совокупность методов воздействия, позволяющую достичь требуемых качественных показателей воды с изменением этого состояния или без него.

Это дало основу для разделения всего многообразия загрязняющих воду примесей на четыре группы. Для каждой из них определён набор методов водоочистки предопределяемой формой, в которой примеси содержатся в воде.

Технологические схемы очистки разработаны для примесей каждой группы на основе влияния процессов, протекающих под воздействием сил, наиболее эффективно влияющих на данную дисперсную группу:

I группа: взвешенные вещества (от высокодисперсных до крупных частиц), а также бактериальные взвеси и другие биологические загрязнения.

Так как они являются кинетически неустойчивыми системами, для их удаления используют силы адгезии и гравитации. Очистку можно осуществлять как реагентными методами, так и безреагентными.

II группа: высокомолекулярные вещества, агрегатное состояние которых неустойчиво в водных растворах, а также разные типы коллоидных систем.

Для их удаления используются силы адгезии и адсорбции. Например, обработка воды флокулянтами, коагулянтами, известью, хлором, а также озоном и другими окислителями. Такая обработка снижает цветность воды, уничтожает микроорганизмы, разрушает некоторые коллоиды, проявляющие защитные свойства по отношению к гидрофобным примесям воды, благодаря чему создаются благоприятные условия для последующего коагулирования и ускоряется процесс образования хлопьев и их осаждения.

III группа: молекулярные растворы.

Для удаления таких примесей наиболее эффективна ассоциация молекул, под влиянием сил межмолекулярного взаимодействия. Примерами являются: аэрирование, окисление, адсорбция.

IV группа: электролиты.

В основе принципа очистки лежит использование силы химических связей, характерных для ионных процессов, посредством связывания реагентами ионов, подлежащих устранению, в соединения, характеризующиеся малой растворимостью.

Если брать во внимание все особенности, характеризующие каждую из групп, можно найти эффективные методы очистки от всего спектра водных примесей, наименьшим числом элементов очистных сооружений, скомпонованных должным образом.

При проектировании систем водоочистки данный принцип классификации поможет определить главные элементы очистных сооружений, скомпоновать их, и подобрать реагенты и процессы, которые должны в них протекать. Эту наиболее сложную часть проектирования, следует развивать путём уточнения параметров сооружений и режима работы учитывая комплекс индивидуальных особенностей и состав примесей водисточника [21].

Конструктивные особенности выбранной схемы определяются производительностью и составом проектируемых сооружений, технико-экономическими расчетами и рядом других особенностей.

Технологическая схема водоподготовки представляет собой комплекс сооружений в сочетании с необходимыми технологическими процессами.

Основные схемы, используемые в практике водоподготовки, можно классифицировать следующим образом:

- реагентные и безреагентные;
- по эффекту осветления;
- по числу технологических процессов и числу ступеней каждого из них;
- по характеру движения обрабатываемой воды [22].

Применение реагентов ускоряет процесс обработки воды во много раз (рисунок 2.2, а), и иногда позволяет значительно увеличить эффективность. Например, для осаждения большинства взвешенных веществ потребуется 2...4 ч, а без применения реагентов – несколько суток. А скорость фильтрования составит 5...12 м/ч (и более), по сравнению с безреагентным методом (медленное фильтрование) – 0,1...0,3 м/ч.

Среди других преимуществ реагентных схем можно отметить значительно меньший объём водоочистных сооружений, компактность, меньшие эксплуатационные и капитальные затраты. Однако они более сложны в эксплуатации нежели безреагентные.

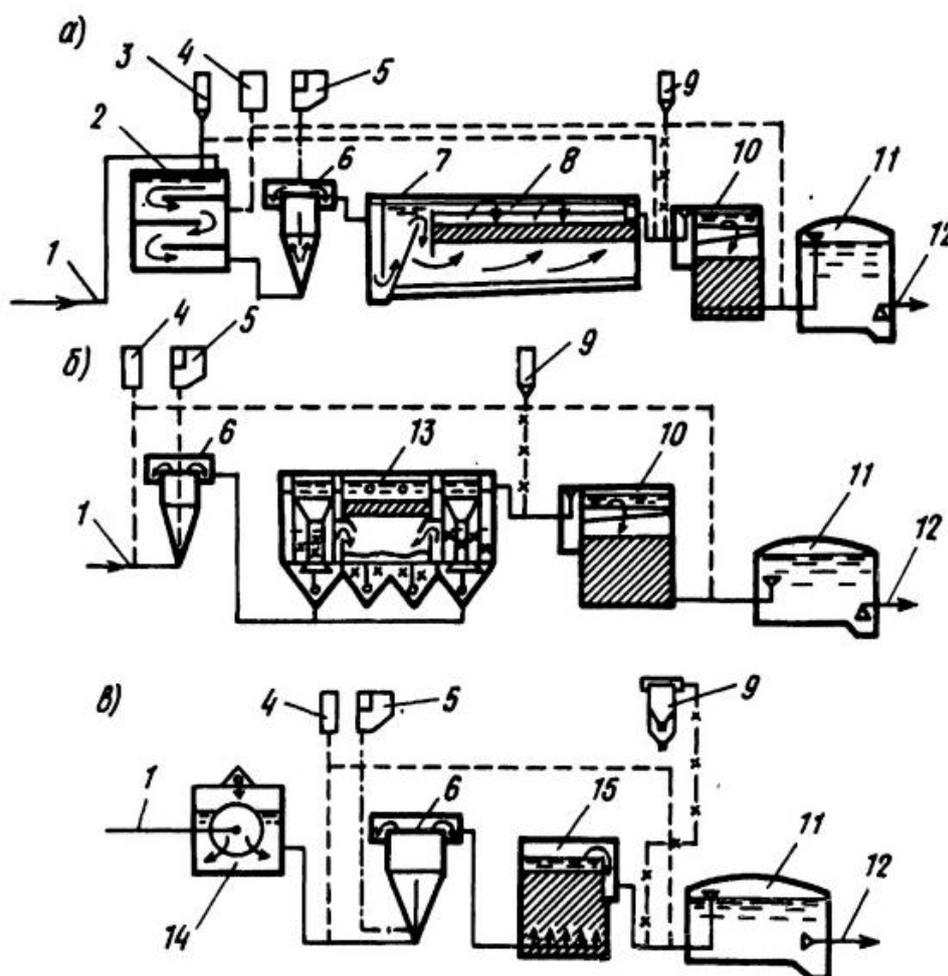


Рис. 2.2 – Реагентные технологические схемы улучшения качества воды с отстойниками (а), осветлителями со слоем взвешенного осадка (б), микрофильтрами и контактными осветлителями (в) [23]

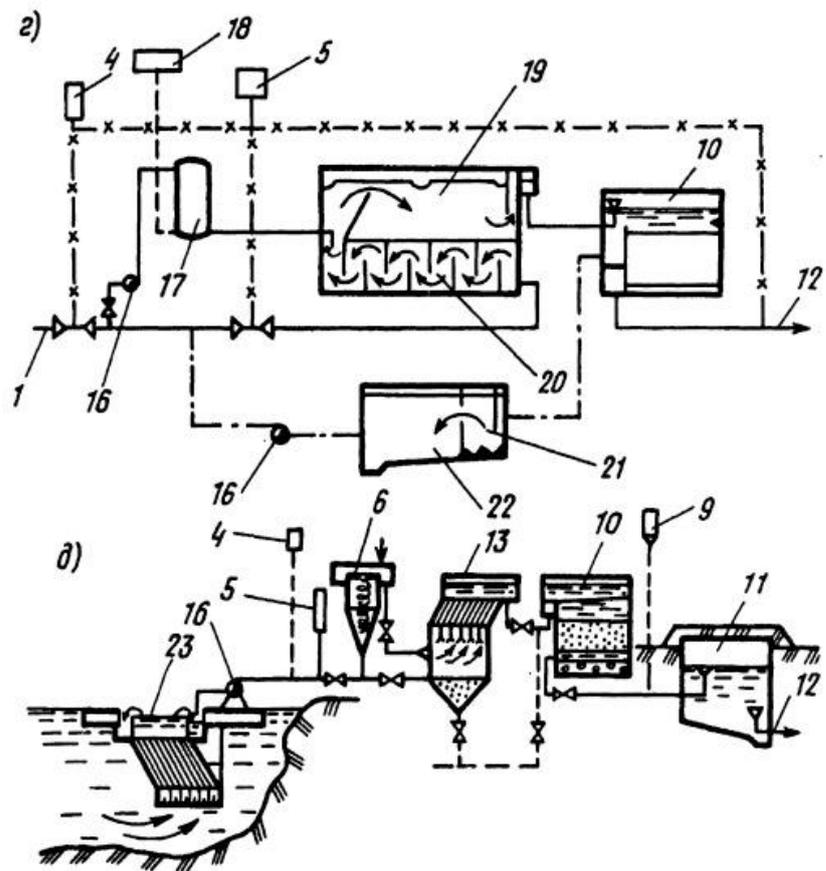


Рисунок 2.3 – Реагентные технологические схемы водоподготовки: с флотаторами (г), отстойниками-осветлителями на плаву (д) [23]

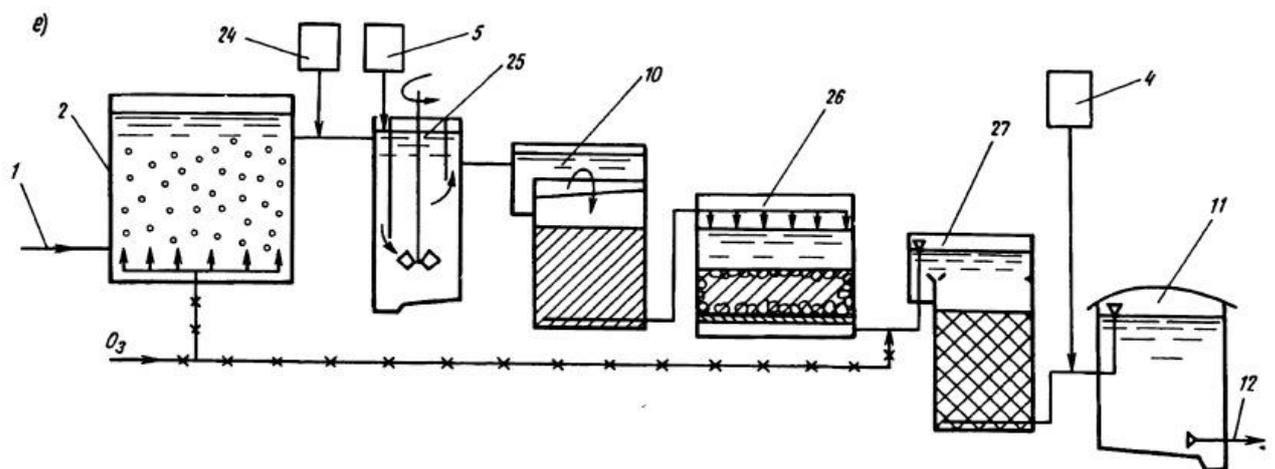
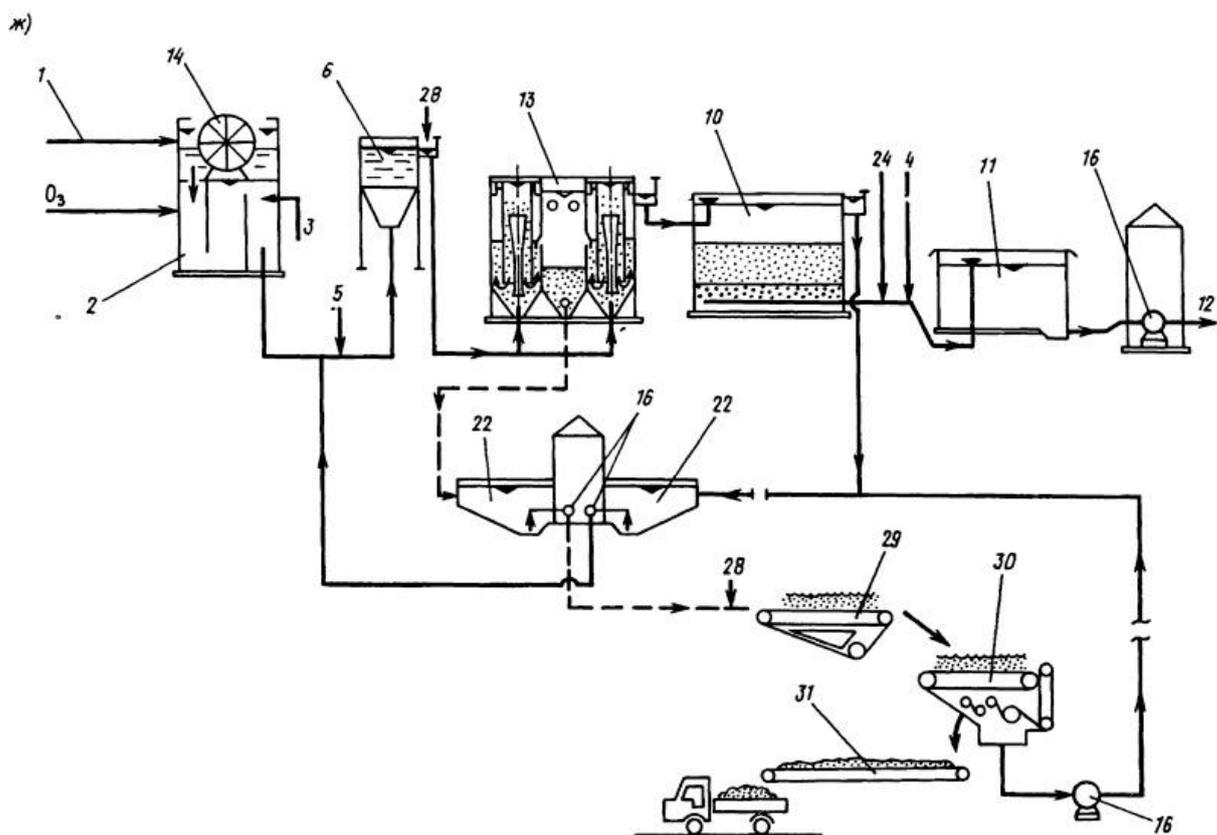


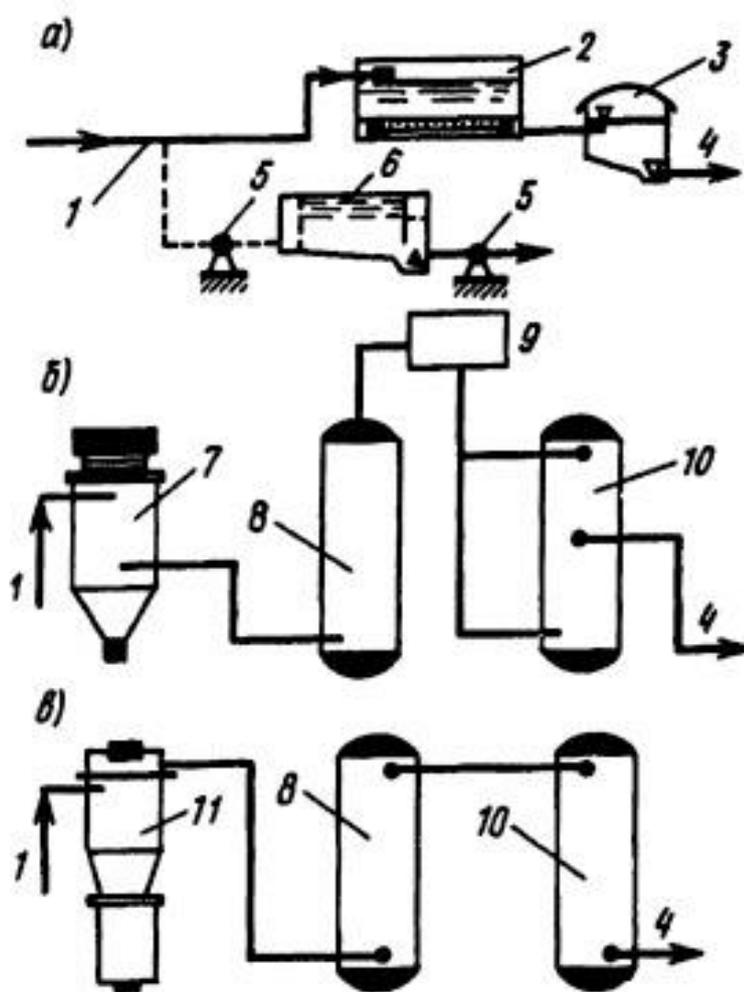
Рисунок 2.4 – Реагентные технологические схемы водоподготовки: для обработки воды (е) повышенного антропогенного воздействия (станция Ленгг, Швейцария) [23]



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 (баранное 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

Рисунок 2.5 – Реагентные технологические схемы водоподготовки: для обработки маломутных цветных вод (ж) [23]

Безреагентные схемы (рисунок 2.6) находят своё применение при потребности в грубом осветлении воды, порой с при этом используется одно фильтрование или одно отстаивание.



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

Рисунок 2.6 – Безреагентные технологические схемы водоподготовки с медленным (а) и акустическим (б) фильтрами, с гидроциклоном (в) [23]

Исходя из требуемой степени очистки воды от взвешенных веществ разделяют схемы для полного и неполного осветления. При полном осветлении очищенная вода отвечает требованиям предъявляемым в соответствующих нормативных документах. Её дальнейшее применение возможно в местах с высокими требованиями, предъявляемыми к воде: хозяйственно-питьевые и многие промышленные водопроводы. При неполном осветлении — концентрация взвешенных веществ гораздо выше, достигает 50...100 мг/л. Такие схемы как правило применяют для подготовки технической воды.

По количеству процессов и ступеней очистки технологические схемы бывают 1, 2-х (рисунок 2.2, б) и многопроцессные. В случае, когда один из основных технологических процессов осуществляется дважды и более, технологическая схема называется двух-, трех- или многоступенчатой. Например, в однопроцессной двухступенчатой технологической схеме с контактными осветлителями (рисунок 2.2, в) основной технологический процесс – фильтрация – осуществляется дважды.

По характеру движения воды идущей на очистку схемы подразделяют на безнапорные (рисунок 2.2) и напорные.

Основой для выбора подходящей технологии служит требование к качеству и количеству подаваемой потребителям воды (таблица 2.2).

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

Основные сооружения	Мутность исходной воды, мг/л	Цветность исходной воды, град	Производительность станции, м ³ /сут
1	2	3	4
Обработка воды с применением коагулянтов и флокулянтов			
1. Скорые фильтры (одноступенчатое фильтрование): — напорные — открытые	До 30 До 20	До 50 Тоже	До 5000 До 50 000
2. Вертикальные отстойники — скорые фильтры	До 1500	До 120	До 5000
3. Горизонтальные отстойники — скорые фильтры	Тоже	Тоже	Свыше 30 000
4. Контактные фильтры — скорые фильтры (двухступенчатое фильтрование)	До 300	До 120	Любая

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4
5. Осветлители со взвешенным осадком — скорые фильтры	Не менее 50 до 1500	»	Свыше 5000
6. Две ступени отстойников — скорые фильтры	Более 500	»	Любая
7. Контактные осветлители	До 120	»	Тоже
8. Горизонтальные отстойники и осветлители со взвешенным осадком для частичного осветления воды	До 1500	»	»
9. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	До 120	»	»
10. Радиальные отстойники для предварительного осветления высокомутных вод	Свыше 1500	»	»
11. Трубчатый отстойник и напорный фильтр заводского изготовителя (типа «Струя»)	До 1000	»	До 800
Обработка воды без применения коагулянтов и флокулянтов			
12. Крупнозернистые фильтры для частичного осветления воды	До 150	До 120	Любая
13. Радиальные отстойники для частичного осветления воды	Более 1500	Тоже	Тоже
14. Медленные фильтры с механической или гидравлической регенерацией песка	До 1500	До 50	»

2.2 Технологические схемы, применяемые в России

Поверхностные водоёмы, загрязнение которых постоянно возрастает, являются основными источниками централизованного питьевого

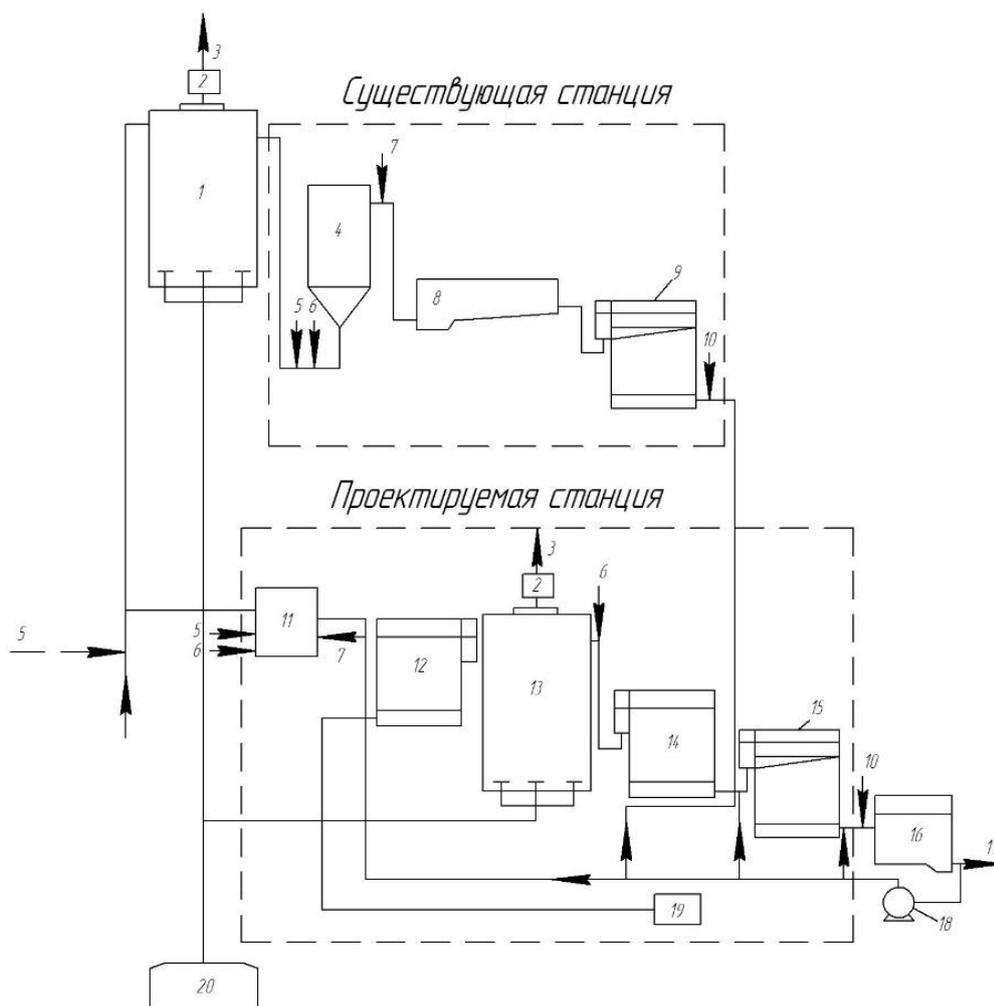
водоснабжения на территории России. На фоне некоторого снижения объема валового сброса сточных вод отмечается тенденция увеличения удельного веса сброса неочищенных стоков. Из-за крайне неудовлетворительного состояния канализационных коллекторов и нарушения в большинстве случаев режима обеззараживания стоков, сбрасываемых предприятиями коммунального хозяйства, резко выросло микробное загрязнение поверхностных водоемов [24].

Российские исследователи говорят о том, что загрязненность воды является причиной заболеваемости населения примерно в 40 % случаях. По данным ВОЗ, инфекционные заболевания, полученные населением из-за качества потребляемой воды, достигают 500 млн. случаев в год [25]. Положение усугубляет тот факт, что из-за сильной изношенности водопроводных сетей вода в них подвергается повторному загрязнению, что требует ее дополнительной очистки и обеззараживания.

Современные технологические схемы водоподготовки традиционно представляют собой совокупность двух основных процессов: удаление взвесей и обеззараживание. На рисунке 2.7 представлена существующая схема водоподготовки на Окском водозаборе в г. Калуге. Она основана на коагулировании сернокислым алюминием с последующим отстаиванием, фильтрованием и обеззараживанием воды хлором и является базовой для большинства водопроводных станций России и Европы. Использование дополнительных технологических приемов, направленных на улучшение качества воды, приведёт к усложнению схемы и, удорожанию. Помимо обработки хлором, сюда следует отнести внедрение дополнительных обеззараживающих реагентов, несколько стадий фильтрования на песчаных и угольных фильтрах и тому подобное.

На основании проведенных анализа качества воды оценки работы существующих сооружений и результатов технологических исследований была разработана новая схема для очистки воды второй очереди Окского водозабора [26] (рисунок 2.7) производительностью 100 тыс. куб. м/сут., отличающаяся от

существующей тем, что озон используется на этапе обработки воды после контактных осветлителей (постозонирование).



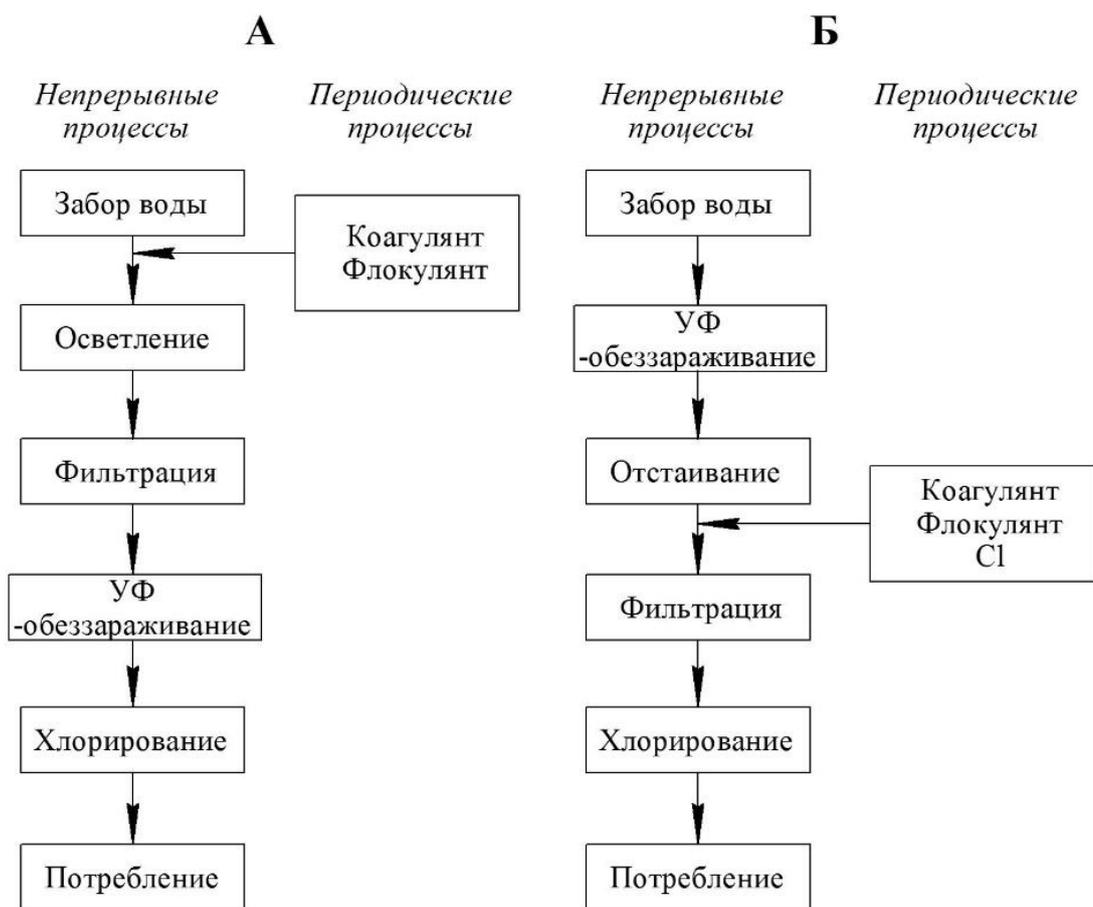
1 – контактная камера озонирования; 2 – аппарат каталитического разложения озона; 3 – выброс в атмосферу; 4 – смеситель; 5 – первичное обеззараживание на водозаборе; 6 – введение коагулянта; 7 – подача флокулянта; 8 – отстойник с встроенной камерой хлопьеобразования; 9 – скорый фильтр; 10 – вторичное 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 очистки воды на Окском водозаборе (г.Калуга)

Для повышения глубины очистки воды от органических загрязнений, удаления запахов и возможных продуктов окисления, образующихся при хлорировании и озонировании воды, дополнительно введены угольные фильтры, обеззараживание воды на обоих блоках рекомендуется осуществлять гипохлоритом натрия, полученным из минерализованных подземных вод,

имеющихся на территории станции, путем электролиза с применением отечественного оборудования. Предусмотрено также проводить наряду с обеззараживанием воды гипохлоритом натрия ее аммонизацию, что позволяет пролонгировать обеззараживающее действие хлорреактанта и сохранять требуемое качество очищенной воды в водопроводных сетях города.

Современные технологические схемы обеззараживания питьевой воды, отражающие специфику водоочистки в различных странах, представлены на рисунке 2.8.



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

б) Тольятти, Отрадное (Россия)

Рисунок 2.8 – Технологические схемы обеззараживания питьевой воды в городах

Другое направление модернизации станций водоподготовки связано с заменой существующих технологий первой ступени на мембранные фильтры, позволяющие производить очистку воды до уровня дистиллированной [27].

Остановимся подробно только на основных применяемых в России способах обеззараживания воды.

В России 99 % воды подвергается хлорированию, аналогичная ситуация сложилась и во многих других странах, таким образом в большинстве случаев для дезинфекции используют чистый хлор, или хлорсодержащие продукты. Такая популярность данного метода связана с тем, что благодаря эффекту последействия, это единственный способ, обеспечивающий микробиологическую безопасность воды в любой точке сети. Все остальные способы обеззараживания воды, в том числе и активно применяемая в наше время ультрафиолетовая обработка, допускают повторное заражение воды на участках сети идущих после, поэтому требуют хлорирования на одной из стадий водоподготовки.

За последние годы хлор практически стал универсальным средством для обеззараживания питьевой воды, альтернативные же реагенты требуют осторожного к ним отношения ввиду неизученности влияния последствий их использования на здоровье населения.

Ужесточившиеся требования, предъявляемые при обращении с хлором, порождают желание перейти на более безопасный способ обеззараживания, соответствующий требованиям СанПиНа 2.1.4. 1074-01 [27], что возможно решить путем замены хлорирования на первичном этапе ультрафиолетовым облучением. Но в большинстве случаев это не позволит избежать хлорирования на вторичном этапе, т.к. на данный момент только оно обеспечивает микробиологическую безопасность воды в любой точке водопроводной сети благодаря эффекту последействия.

В соответствующих указаниях к проектированию систем водоочистки указывается возможность применения УФ-обработки на этапе первичного обеззараживания при условии проведения технологических исследований на источнике водоснабжения. Однако величина бактерицидного потока данными методическими указаниями не регламентируется. Так же стоит отметить, что ультрафиолет обеспечивает заданную защиту от бактерий и вирусов при

соблюдении всех установленных эксплуатационных условий. Поэтому одним из важнейших вопросов применения этого метода является создание гарантий его надежности. Для обеспечения данного условия система должна быть снабжена датчиками измерения интенсивности бактерицидного потока в камере обеззараживания, системой автоматики, гарантирующей соответствующее оповещение при снижении минимально заданной дозы, счетчиками времени наработки ламп и индикаторами их исправности.

Таким образом, для обеспечения эпидемиологической безопасности хлорирование необходимо по крайней мере на вторичном этапе обеззараживания воды. Но и при таком выводе эксплуатирующие службы иногда пытаются найти более «безопасный» для них способ. Последнее время многих привлекает гипохлорит натрия (ГХН). Его использование в некоторых схемах процесса обеззараживания воды обосновывается тем, что он не горюч и не взрывоопасен, поэтому применяемое при его использовании оборудование для обеспечения процесса обеззараживания на станциях водоподготовки сегодня не относится к категории промышленно опасного и поднадзорного Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору.

В этом случае, приходится говорить об относительной, а не полной безопасности. Во-первых, требуются дополнительные мероприятия и по предотвращению кальцинации арматуры, особенно точек ввода — инжекторов и диффузоров. Это то, что касается промышленной безопасности. Кроме того, замена газообразного хлора гипохлоритом натрия или кальция для дезинфекции воды вместо молекулярного хлора не снижает, а значительно увеличивает вероятность образования тригалометанов (ТГМ). Ухудшение качества воды при применении гипохлорита связано с тем, что процесс образования ТГМ растянут во времени до нескольких часов, а их количество при прочих равных условиях тем больше, чем больше рН.

Существенные недостатки гипохлорита выявились на Мосводоканале [28], где в практике водоснабжения используют концентрированный

гипохлорит натрия марки А с содержанием активной части 190 г/л и низкоконцентрированный гипохлорит марки Э с содержанием активной части около 6 г/л.

Также стоит обратить внимание на то, что существующие производства концентрированного гипохлорита натрия в России не обеспечивают перспективные потребности Мосводоканала в объеме около 50 тыс. куб. м в год. А электролизные установки отечественного производства небольшой производительности для получения низкоконцентрированных растворов гипохлорита натрия имеют ограниченное применение и недостаточный опыт эксплуатации (г. Иваново и г. Шарья Костромской области). Помимо вышеперечисленного, сдерживающим фактором применения гипохлорита натрия на крупных водопроводных станциях является недостаточная изученность таких его свойств, как степень эффективности обеззараживания воды и способность данного реагента обеспечивать длительное последствие в протяженных распределительных сетях. Из-за организации непрофильного для водоканала химического производства со всеми его издержками возрастают эксплуатационные затраты на водоподготовку.

Все эти недостатки являются сдерживающим фактором использования гипохлорита в Европе.

Не следует так же оставлять без внимания степень воздействия конкретного способа обеззараживания на основные виды микроорганизмов обитающих в водоемисточнике. И оценку эффективности этих систем с учетом устойчивости к их воздействию определённого процента биомассы.

2.3 Хлорирование

После механической очистки природная вода все ещё не может считаться питьевой, так как, т.к. даже имея нормальные органолептические и физико-химические свойства, не является безопасной, из-за содержания в ней множества бактерий, вирусов и простейших.

Наиболее распространённым методом обеззараживания воды является - хлорирование. Бактерицидный эффект хлора и его соединений состоит из двух компонентов:

1. Бактерицидное действие самого хлора;
2. Бактерицидное действие атомарного кислорода (O), который образуется при распаде хлорноватистой кислоты, образующейся при взаимодействии хлора с водой.

Хлорирование воды осуществляется путём обработки её жидким (газообразным) хлором. На малых водоочистных сооружениях допустимо применение хлорной извести. При плюсовой температуре и нормальном давлении хлор – это газ, имеющий желто-зелёный цвет, удушливый запах и высокую плотность. При повышенном давлении хлор переходит из газообразного в жидкое состояние. В таком виде осуществляется его транспортировка и хранение в специальных стальных емкостях (при давлении 0,6...1,0 МПа).

Хлорирование воды зарекомендовало себя как надежное средство, обеспечивающее микробиологическую безопасность обрабатываемой воды, и предотвращающее распространение большинства болезнетворных микроорганизмов.

Степень бактериологического эффекта при обработке воды хлором зависит от вводимой дозы и времени контакта с водой. В связи с этим хлоропоглощаемость является переменной величиной, зависящей от внедрённой дозы, времени контакта, величины водородного показателя, температуры воды и прочего. (рисунок 2.9 и 2.10).

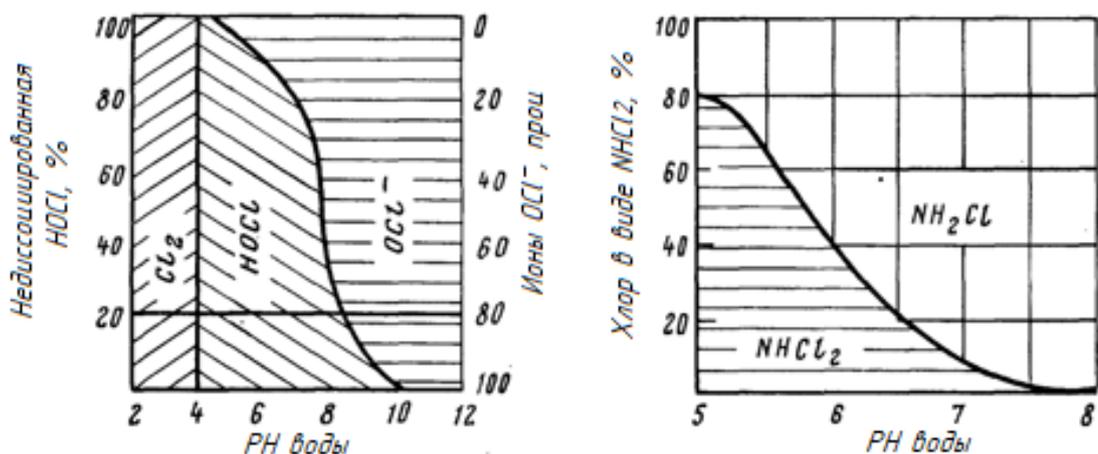


Рисунок 2.9 – Форма соединений хлора при различных значениях pH воды

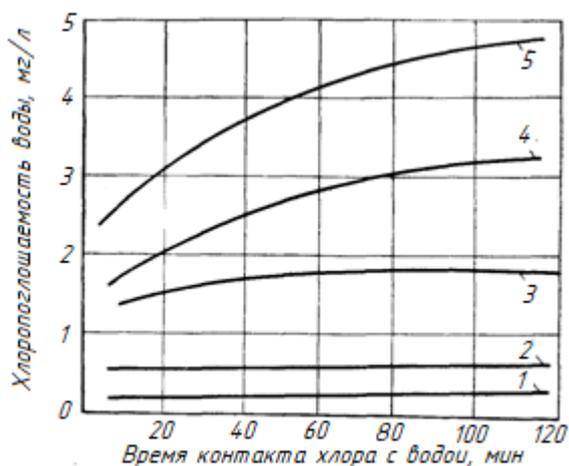


Рисунок 2.10 – Зависимость хлоропоглощаемости от времени контакта хлора с водой:
дозы хлора, мг/л: 1 — 0,5; 2 — 0,75; 3 — 2,0; 4 — 4,0; 5 — 20,0

Графически, связь образованная водой и внедрённым в неё хлором может как быть прямой линией так и иметь излом (рисунок 2.11). Непрямолинейный характер данной зависимости наблюдается при наличии в обрабатываемой воде аммиака. Первая точка излома на линии 2 отображает образование NH_2Cl имеющим меньший, нежели у хлора окислительно-восстановительный потенциал. Вторая точка излома показывает момент окисления образовавшегося монохлорамина избыточным хлором [29].

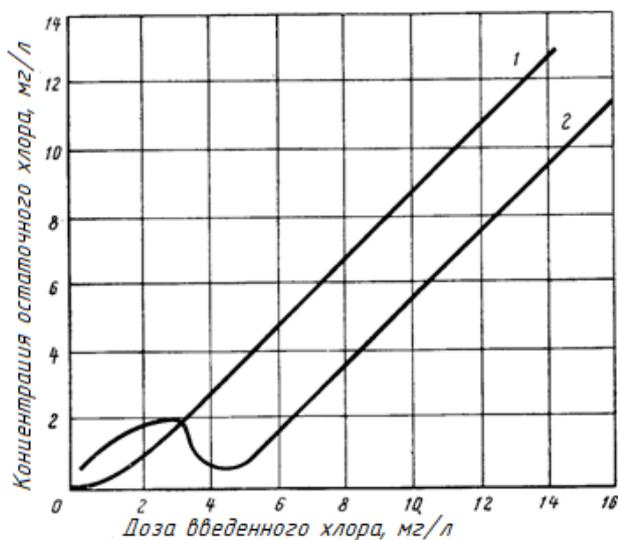


Рисунок 2.11 – Зависимость остаточного хлора от дозы введенного в воду при отсутствии (1) и при наличии (2) в ней аммонийных солей

В традиционных схемах, практическое применение нашло одно- или двукратное хлорирование воды. При обеззараживании вод с высокой цветностью или высоким содержанием органических веществ, применяют двукратное хлорирование. В этом случае сначала проводится предварительное хлорирование, перед камерами хлопьеобразования или осветлителями, а затем повторное, после фильтров. Первое требуется для окисления органических веществ, препятствующих процессу коагуляции, и веществ, обуславливающих цветение воды, таким образом экономится коагулянт, расходуемый на обесцвечивание [30].

В отдельных ситуациях возникает потребность в так называемом перехлорировании, что обусловлено гарантией высокого эффекта обеззараживания. После такого воздействия остаточная концентрация хлора в воде достаточно велика (1...7 мг/л), что влечёт за собой необходимость в последующем ее дехлорировании. Для чаще всего вода обрабатывается сульфитом натрия, сернистым газом или фильтруется через активированный уголь.

Необходимость продления бактерицидного эффекта хлора, а также предотвращения резких запахов появляется при длительном пребывании воды в резервуарах и водоводах (более 1,5 часов). Для решения данной проблемы в

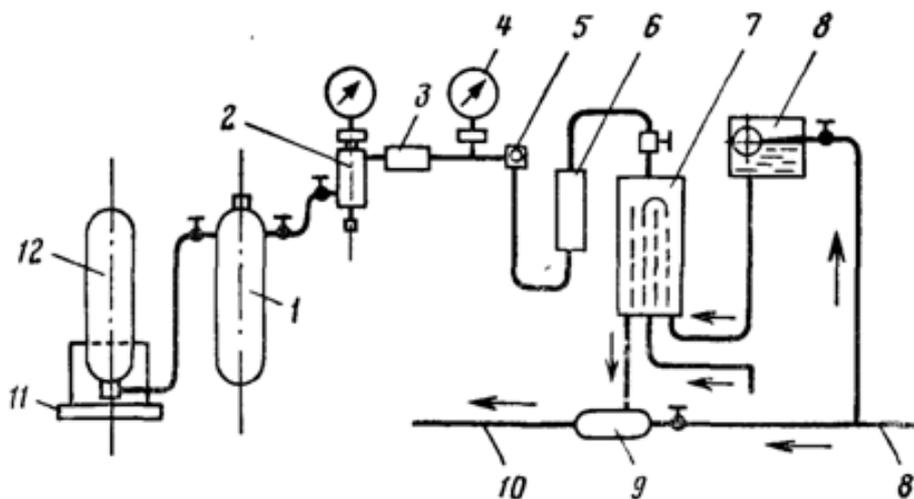
воду помимо хлора вводится аммиак, что кроме того, позволяет сократить расход первого и в некоторых случаях способствует улучшает вкуса воды.

На эффективность обеззараживания путём хлорирования большое влияние оказывает начальная доза хлора и время нахождения в очищаемой воде его остаточной концентрации. Наименьшее время контакта – тридцать минут при сохранении остаточного хлора 0,3—0,5 мг/л [31].

Интенсивность процесса обеззараживания определяется скоростью отмирания клеток в ходе нарушения обмена веществ.

Бактерицидное воздействие хлора ухудшается с увеличением водородного показателя. В следствие чего обеззараживание следует проводить при повышенных температурах и низкой величине рН. Содержащиеся в воде органические примеси, способные к окислению, замедляют процесс обеззараживания воды.

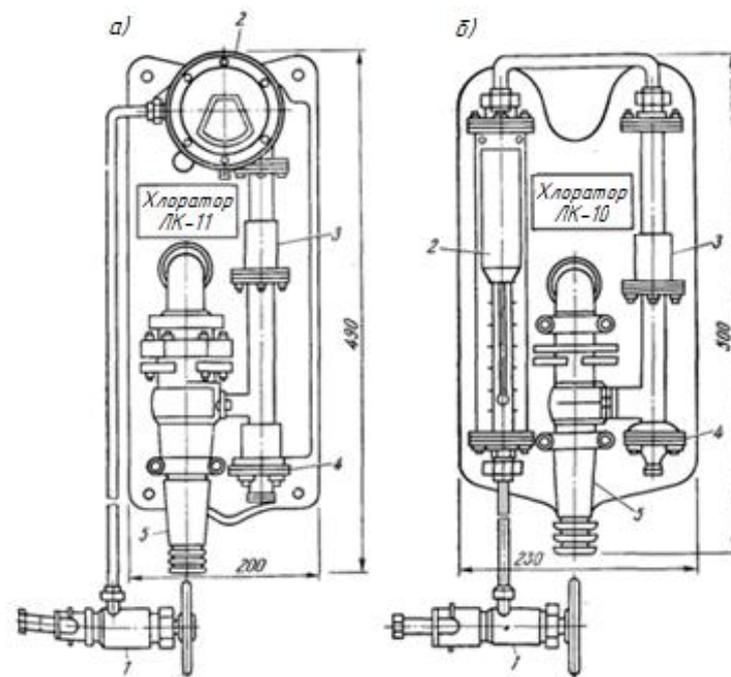
Для дозировки в воду окислителей применяют вакуумные газодозаторы системы ЛОНИИ-100 (рисунок 2.12) и системы Л. А. Кульского (рисунок 2.13).



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 разряжение в хлораторе; 10 — отвод хлорной воды на дозирование; 11 — весы; 12 — баллон с хлором

вода хлорирование обеззараживание газодозатор

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.

Рисунок 2.13 – Вакуумные хлораторы системы Л.А. Кульского: ЛК-11 (а) и ЛК-10 (б)

При проектировании хлораторных установок, нельзя забывать о токсичности хлора, необходимо принимать меры, обеспечивающие безопасность обслуживающего персонала [33].

В заключении можно сказать о том, что эффективность хлорирования зависит от:

1. Активности применяемых веществ. Наибольшей активностью обладает хлор, слабее действует хлорная известь, причем ее эффективность зависит от содержания в ней активного хлора (25-35 %), прочие соединения оказывают ещё более слабое воздействие.

2. Качества (чистоты) хлорируемой воды. Взвешенные в воде частицы препятствуют бактерицидному действию хлора, хлор тратится на окисление органических веществ воды. Чем чище вода, тем эффективнее хлорирование.

3. Дозы хлора и времени его действия. От дозы хлора (и величины хлорпоглощаемости) зависит количество остаточного хлора, с помощью которого и обеспечивается обеззараживающее воздействие.

4. Свойств самих микроорганизмов.

Основными недостатками хлорирования является следующее:

1. Хлор изменяет органолептические свойства воды (запах, вкус, прозрачность)

2. Имеются хлоррезистентные микробы (например, спорообразующие) (таблица 2.3)

Таблица 2.3 – Характеристика важнейших возбудителей инфекций, передаваемых с водой

Возбудитель	Срок выживания в воде (сутки)	Максимальная инфицирующая доза (клетки)	Устойчивость к хлору
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)	Может 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>Entamoeda histolytica</i> (Дизентерийная амёба)	30...60	20...80	Высокая
<i>Gyptosporidium parvum</i> (Криптоспоридиоз)	50...120	0...30	Высокая

Наиболее важной проблемой данного метода является высокая активность хлора, он вступает в химические реакции со всеми органическими и неорганическими веществами, находящимися в воде. В воде из поверхностных источников (которые в основном являются источниками водозабора) находится огромное количество сложных органических веществ природного происхождения, а также в большинстве крупных промышленных городов в воду попадают с промышленными стоками красители, ПАВ, нефтепродукты, фенолы и пр.

При хлорировании воды, содержащей вышеприведенные вещества, образуются хлорсодержащие токсины, мутагенные и канцерогенные вещества и яды, в том числе диоксиды, а именно:

- Хлороформ, обладающий канцерогенной активностью;
- Дихлорбромметан, хлоридбромметан, трибромметан - обладающие мутагенными свойствами;
- 2,4,6-трихлорфенол, 2-хлорфенол, дихлорацетонитрил, хлоргиердин, полихлорированные бифенилы - являющиеся иммунотоксичными и канцерогенными веществами;

- Тригалогенметаны - канцерогенные соединения хлора.

Данные вещества оказывают замедленное убийственное воздействие на организм человека. Очистка питьевой воды от хлора не решает проблемы, так как многие из опасных соединений образующиеся в воде в процессе ее хлорирования попадают в организм человека через кожу, во время мытья, приема ванн или посещения бассейна.

По мнению некоторых исследователей, с употреблением загрязненной воды может быть связано от 30 до 50% случаев злокачественных опухолей. Другие приводят расчеты, в соответствии с которыми потребление речной воды [50] может привести к увеличению онкологической заболеваемости на 15%.

2.4 Ультрафиолетовая обработка природной воды

Наряду с хлорированием одним из наиболее распространенных методов обеззараживания воды считается ультрафиолетовое (УФ) обеззараживание воды.

Основное применение данный способ нашёл на начальной стадии водоочистки от болезнетворных микроорганизмов. УФ-обработка может быть применена в сочетании с обеззараживанием воды хлором и гипохлоритом, причем хлорирование обязательно производится после обработки воды ультрафиолетом.

Столь широкому распространению ультрафиолетовое облучение обязано своей безреагентной основе, такая технология не только не приводит к образованию в процессе обеззараживания токсичных соединений (как в случаях с применением хлора), но и одновременно почти полностью уничтожает патогенную микрофлору.

Ультрафиолет — это электромагнитное излучение с длиной волны от 10 до 400 нм. Такие волны располагаются на границе видимости и рентгеновских лучей, причем само ультрафиолетовое излучение делится на три вида:

- ближний;
- средний;

- дальний.

Для УФ обеззараживания воды сегодня применяются волны довольно узкого диапазона — от 250 до 270 нм. В этих рамках бактерицидное воздействия ультрафиолета приобретает свое максимальное значение. Большая часть установок по обеззараживанию воды ультрафиолетом использует лампы низкого ртутного давления, которые производят излучение длиной в 260 нм, то есть оптимальную длину волны. При работе на этой длине волны происходит умягчение воды.

Ультрафиолетовое обеззараживание воды происходит при помощи способности УФ излучения проникать сквозь стенки клетки, добираясь до ее информационного центра – нуклеиновых кислот ДНК и РНК. В ДНК живой клетки хранится вся информация, которая контролирует процесс развития и нормального функционирования в клетке. Ультрафиолетовое обеззараживание воды заключается в поглощении лучей излучения нуклеиновыми кислотами. При поглощении излучения ДНК и РНК теряют способность делиться, вследствие чего теряется способность клетки к размножению, так как именно в разделении нуклеиновых кислот заключается репродукция клетки [52]. А так как болезнетворные микроорганизмы, способные нанести вред лишь в случае размножения в организме человека, после подверженности воздействию УФ излучения утрачивают данную способность – любой негативный эффект от них исключается, как следствие [34].

Установки для УФ обеззараживания воды обладают имеют несложное конструктивное исполнение и представляют собой металлические трубки, с размещёнными в них ультрафиолетовыми лампами. Обязательным элементом таких фильтров УФ обработки являются кварцевые чехлы, в которых располагаются сами лампы (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Фото установки для УФ - обеззараживания воды

Принцип работы данных установок не отличается особой сложностью и заключается в следующем: вода, проходя через корпус фильтра УФ обеззараживания воды, омывает кварцевый чехол, получая при этом необходимую для уничтожения болезнетворных бактерий дозу ультрафиолетового облучения (рисунок 2.15). Из устройства установки становится ясно, что кварцевый чехол является необходимой мерой для предотвращения попадания воды в корпус УФ лампы.

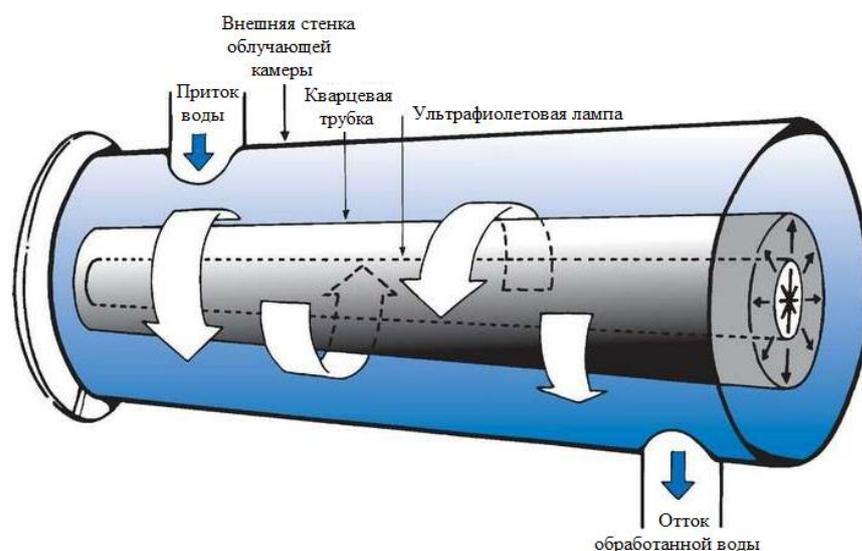


Рисунок 2.15 – Принципиальная схема установку для УФ - обеззараживания воды

Источником ультрафиолетового облучения и основным элементом установки – является лампа (рисунок 2.16). Бактерицидный поток образуется в процессе испарения в корпусе лампы определённого металла. Наиболее распространённым материалом для ламп является ртуть. Для эффективного уничтожения болезнетворных микроорганизмов необходимо точно контролировать длину излучаемых УФ лампами волн. Основным фактором, определяющим их длину, является давление, под которым в лампе находятся пары ртути.

Лампы ультрафиолетового излучения делятся на три основных типа:

- высокого давления;
- среднего давления;
- низкого давления.



Рисунок 2.16 – Лампа ультрафиолетового излучения

Для обеззараживания воды могут быть использованы только два из вышеперечисленных: лампы среднего и низкого давления. Наибольшее распространение сегодня получили вторые из них, так как они производят излучение длиной около 260 нм, чего более чем достаточно для полного обезвреживания микроорганизмов, и кроме того, они обладают большим сроком службы и меньшим энергопотреблением в сравнении с остальными типами.

Условия эффективности УФ обеззараживания воды

Как и у любого другого метода, у обеззараживания воды ультрафиолетом имеется целый ряд ограничений, способных существенно затруднить

полноценную работу и снизить эффективность установок ультрафиолетового обеззараживания воды.

Важным фактором является размер и вид организма. Теоретически, ультрафиолетовая радиация способна убить вирусы, бактерии, грибки и простейших. Но на практике большие организмы, такие как простейшие, могут потребовать большей дозы облучения. Так же многое зависит от вида организма: некоторые бактерии более устойчивы к облучению, чем другие.

Ещё одним фактором, влияющим на качество водоочистки, является необходимая доза УФ облучения и мощность ультрафиолетовой лампы. Требуемая доза бактерицидного потока рассчитывается исходя из требуемой интенсивности облучения и длительности его воздействия, с учетом характера находящихся в воде микроорганизмов. Чем больше вода подвергается воздействию УФ-излучения, тем больше погибает вредоносных микроорганизмов. Время контакта так же часто называют временем "выдержки". Время выдержки тем меньше чем выше скорость потока воды. Длина лампы так же оказывает влияние на длительность контакта воды со стерилизатором. Не меньшее значения при расчеты необходимой дозы имеет количество бактерий и микробов, находящихся в воде.

Количество произведенного ультрафиолета напрямую зависит от мощности самой лампы. Чем мощнее лампа — тем больше ультрафиолета она производит. К сожалению, способность ламп производить УФ-лучи падает со временем, так что лампы требуют замены раз в 4-6 месяцев. Оптимальная для выработки ультрафиолета температура — от 40 до 43°C. В более холодной среде продуктивность стерилизаторов падает.

Также огромные значения для успешного функционирования установок УФ обеззараживания имеют свойства исходной воды, в особенности состав и количество содержащихся в ней примесей. Существуют определенные нормативы содержания в воде железа, крупнодисперсных загрязнителей, а также цветности, при превышении которых дальнейшее обеззараживание воды ультрафиолетом становится если не бесполезным, то малоэффективным.

Крупнодисперсные примеси и частицы железа действуют на манер щита для какой-то части бактерий и микробов, находящихся в воде, в следствии чего последние не получают необходимой дозы облучения и, тем самым, негативно сказываются на качестве УФ обеззараживания воды, поэтому сначала необходимо провести обезжелезивание воды.

Вода, подающаяся на установку должна соответствовать следующим требованиям: общее содержание железа – не более 0,3 мг/л, марганца – 0,1 мг/л; содержание сероводорода – не более 0,05 мг/л; мутность – не более 2 мг/л по каолину; цветность – не более 35 град [53].

Так же имеет место количество соли, содержащееся в исходной воде. Так в пресной воде проникающая способность УФ лучей выше, чем в соленой. И наконец, очень важна чистота оболочки лампы. Если её покрывает известковый налет — он просто заблокирует излучение, поэтому лампу необходимо регулярно очищать от известкового налёта с помощью лимонной кислоты.

Кроме того, это означает, что ультрафиолетовую лампу при замене нельзя брать руками за стекло, т.к. оставленные отпечатки пальцев также снижают эффект обеззараживания.

Температура обрабатываемой воды так же имеет большое значение. УФ-лучи лучше всего распространяются в воде температурой 40-43°C. Так что если вы стерилизуете ледяную воду прямиком из скважины — то это не то же самое, как если бы вы решили стерилизовать уже нагретую воду.

Следовательно, общие рекомендации по повышению эффективности работы ультрафиолетовой лампы для обеззараживания воды:

- лампа должна быть чистой;
- вода должна быть прозрачной;
- нужно обеззараживать мягкую воду (чтобы не было известкового налёта);
- в воде не должно быть растворённого железа (чтобы не снижалась мутность воды);
- вода должна быть тёплой;

- лампа должна быть как можно более длинной;
- скорость воды должна быть как можно менее большой
- лампу необходимо регулярно менять (поскольку чем дольше работает лампа, тем хуже она излучает ультрафиолет);
- лампа должна быть как можно более мощной;
- вода должна быть как можно менее солёной.

Эффективность ультрафиолетового обеззараживания воды определяется по уровню содержания в ней бактерий кишечной палочки — как организма, обладающего наибольшей устойчивостью к УФ облучению. Контроль над установками УФ обеззараживания воды производится методом выявления в воде кишечной палочки и определению уровню ее содержания [35].

Таблица 2.4 – Необходимая доза УФ облучения для подавления тех или иных микроорганизмов

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

Таким образом, ультрафиолетовое обеззараживание воды — хороший вариант защититься от разнообразных бактерий.

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

Обеззараживание воды ультрафиолетом также может быть использовано в качестве предварительной меры обеззараживания. За счет своей достаточно высокой способности к дезинфекции УФ обеззараживание воды позволяет существенно сократить расходы химических реагентов-дезинфекторов или же расходы энергии на обеззараживание воды озонированием и любыми другими способами.

- УФ облучение летально для большинства водных микроорганизмов: бактерий, вирусов, спор и простейших. Оно уничтожает возбудителей таких инфекционных болезней, как тиф, холера, дизентерия, вирусный гепатит, полиомиелит и др. Применение ультрафиолета позволяет добиться более эффективного обеззараживания, чем хлорирование, особенно в отношении вирусов.

- Обеззараживание ультрафиолетом происходит за счет фотохимических реакций внутри микроорганизмов, поэтому на его эффективность изменение характеристик воды оказывает намного меньшее влияние, чем при обеззараживании химическими реагентами. Также безреагентная основа допускает использование сколь угодно высоких доз облучения, что невозможно в случаях с иными методами обеззараживания воды, где превышение верхней границы дозы грозит возможностью попадания реагента в воду.

- В обработанной ультрафиолетовым излучением воде не обнаруживаются токсичные и мутагенные соединения, оказывающие негативное влияние на биоценоз водоемов.

- Не меньшую ценность при использовании УФ обеззараживания воды представляет собой высокая скорость реакции. Обеззараживание воды ультрафиолетом происходит в считанные секунды даже при условии использования максимальной дозы облучения, поэтому отсутствует необходимость в создании контактных емкостей.

- Достижения последних лет в светотехнике и электротехнике позволяют обеспечить высокую степень надежности УФ комплексов. Современные УФ лампы и пускорегулирующая аппаратура к ним выпускаются серийно, имеют высокий эксплуатационный ресурс.

- Применение УФ обеззараживания воды считается оптимальным методом в силу своей экономичности по сравнению с озонированием и другими дорогостоящими методами обеззараживания воды. Это связано со сравнительно

небольшими затратами электроэнергии (в 3-5 раз меньшими, чем при озонировании); отсутствием потребности в дорогостоящих реагентах: жидком хлоре, гипохлорите натрия или кальция, а также отсутствием необходимости в реагентах для дехлорирования.

- Отсутствует необходимость создания складов токсичных хлорсодержащих реагентов, требующих соблюдения специальных мер технической и экологической безопасности, что повышает надежность систем водоснабжения и канализации в целом.

- Ультрафиолетовое оборудование компактно, требует минимальных площадей, его внедрение возможно в действующие технологические процессы очистных сооружений без их остановки, с минимальными объемами строительно-монтажных работ.

Основными недостатками обеззараживания воды ультрафиолетом считаются:

- Не универсальность в отношении применения к некоторым микроорганизмам, которые обладают высокой устойчивостью к УФ излучению. Подобное встречается довольно редко, однако в случаях, когда в воде содержится большое количество стойких к облучению бактерий или вирусов УФ обеззараживание воды может быть использовано только в качестве предварительной меры.

- На эффективность обеззараживания в бактерицидных установках, определенное влияние оказывает наличие в воде различных взвешенных частиц. Если в воде присутствует крупнодисперсная примесь, то она может сыграть роль своеобразного щита для 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.

- Существенным недостатком является то, что вода, которая была очищена воздействием УФ-лучей способна заново загрязниться при ее транспортировке или на следующих этапах использования, т.к. действие ультрафиолетового обеззараживания одноразово и прекращается сразу после потери контакта

2.5 Ультразвуковое обеззараживание

Третьим рассматриваемым способом обеззараживания воды в процессе водоочистки является ультразвуковая обработка. Данный метод основан на использовании кавитации вызванной ультразвуком. Суть его воздействия заключается в следующем: при протекании кавитации образуются высокие давления, что приводит к разрыву оболочек клеток микроорганизмов и дальнейшей их гибели. Важной особенностью ультразвукового обеззараживания является чрезвычайно сильная зависимость итоговой эффективности от интенсивности колебаний. Для эффективного уничтожения большинства патогенных бактерий, включая ряд спор и грибков, необходимо применение достаточно больших доз поглощенной энергии. В ряде случаев это очень затруднительно, поэтому широкое практическое применение нашли комбинированные установки, включающее ультразвуковое и УФ облучение. Примером может служить серия установок «Лазурь–М» (рисунок 2.17) производства компании «Сварог» (Москва), в которой использовано УФ излучение с максимумами 253,7 и 185 нм совместно с ультразвуковым воздействием. Эти установки выпускаются в модульном исполнении производительностью от 0,5 до 50 м³/ч и используются как в отдельных коттеджах, так и в населенных пунктах и на промышленных предприятиях [36].



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

Ультразвук представляет собой волны колебаний высокой частоты (рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 – Ультразвук. Шкала распределения частот.

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

Чаще всего используется порог 20 кГц, уровень определяемый границей слышимости человеческого уха.

Возьмём за пример особенности строения клеток некоторых видов цианобактерий.

Клеточная стенка – натянута тургором, который меняется в течение суток. Когда она слабо натянута можно возбудить поверхностные моды и вызвать плазмолиз.

- внешняя мембрана (5 нм);
- межплазматическое пространство (periplasmic space);
- пептидогликан (10 нм) (упругая оболочка);
- межплазматическое пространство (periplasmic space);
- плазматическая мембрана (5 нм).

Очистка и обеззараживание воды ультразвуком основана на принципе кавитации - возникновении в объеме воды большого количества пузырьков образованных газом. При быстром росте их численности а в последствии разрушения, в жидкой среде возникают резкое локальное увеличение давления и температуры. Именно это воздействие и используется для достижения необходимых результатов.

Принцип основан на разрушении оболочки микроорганизмов. Дополнительные полезные функции выполняют образующиеся при кавитации активные радикалы, ускоряя процессы окисления. При создании ультразвукового излучателя следует учитывать, что не нельзя чрезмерно увеличивать частоту. Кавитация происходит интенсивнее в диапазоне от 18000 до 50000 Гц. Чтобы обеззараживание жидкости было эффективным необходимо обеспечить высокую плотность поля, от 1,5 до 2 Вт на 1 см. куб. объема. Также потребуется высокая мощность для разрушения слоев механических загрязнений.

В 2017 году Санкт-Петербургским институтом озероведения Российской академии наук ФГБУН были проведены исследования касающиеся воздействия оказываемого влиянием ультразвука на клетки цианобактерий. В ходе проведения экспериментов ими было отмечено явление резонанса - разрушения элементов клетки под действием резкого возрастания амплитуды их вынужденных колебаний, а также влияние колебаний на обменные процессы внутри клетки (нарушение фотосинтеза и метаболизма) [37].

1) Состояние клеток плазмолиза до и после подверженности его ультразвуковой обработки:

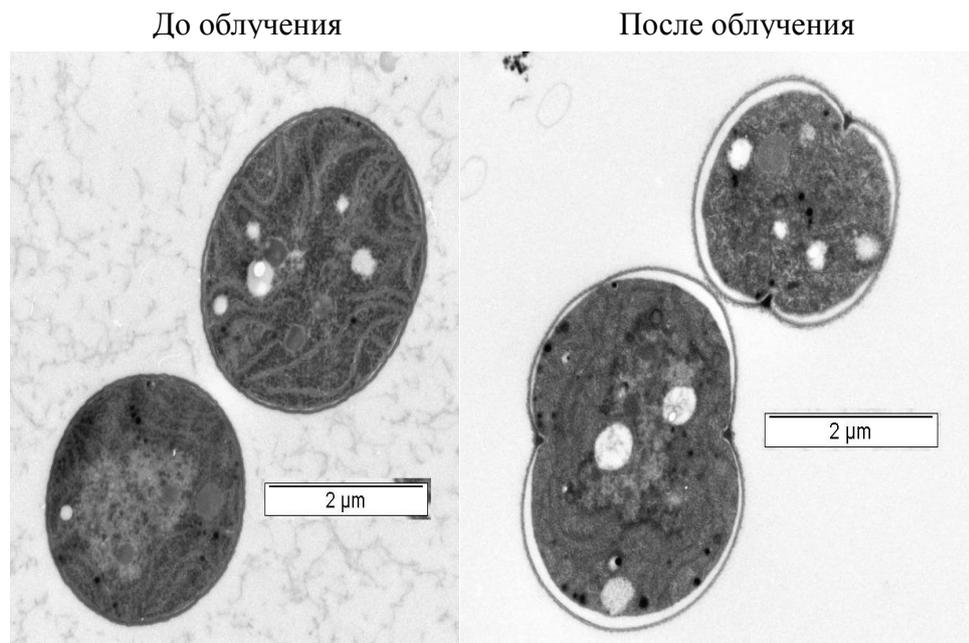


Рисунок 2.19 – Плазмолиз при низкочастотном ультразвуковом воздействии

С газовыми вакуолями ничего не случилось, а клеточная стенка отошла от цитоплазматической мембраны.

2) Ультразвуковое воздействие на газовые везикулы:

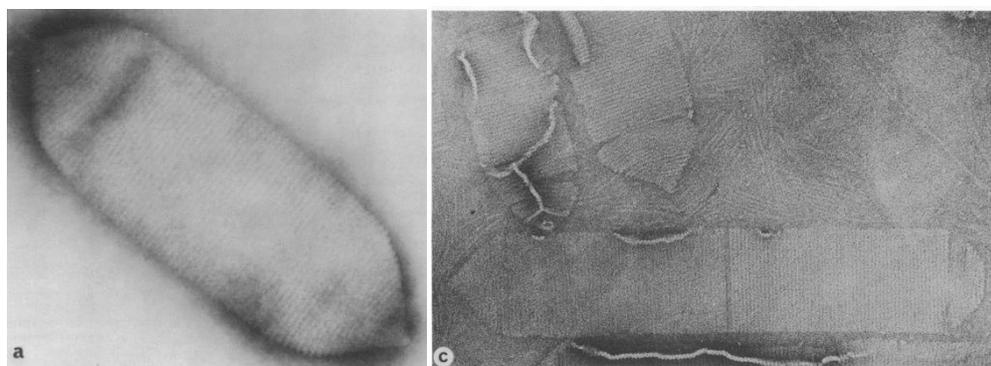


Рисунок 2.20 – Газовые везикулы

Газовые везикулы – прочные образования, не меняющие своего объема и формы. При определенных условиях их оболочка может стать нестабильной и сломаться. Под действием тургора они схлопываются обратимо.

Критическое давление, при котором везикулы схлопываются ($p \sim 2.5 - 8$ атм), зависит от формы везикул, температуры, освещенности, pH, и пр.

Прочность везикул меняется в течение суток:

- min в конце светового дня (+ высокий тургор)

- тах в начале светового дня (+ низкий тургор)

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

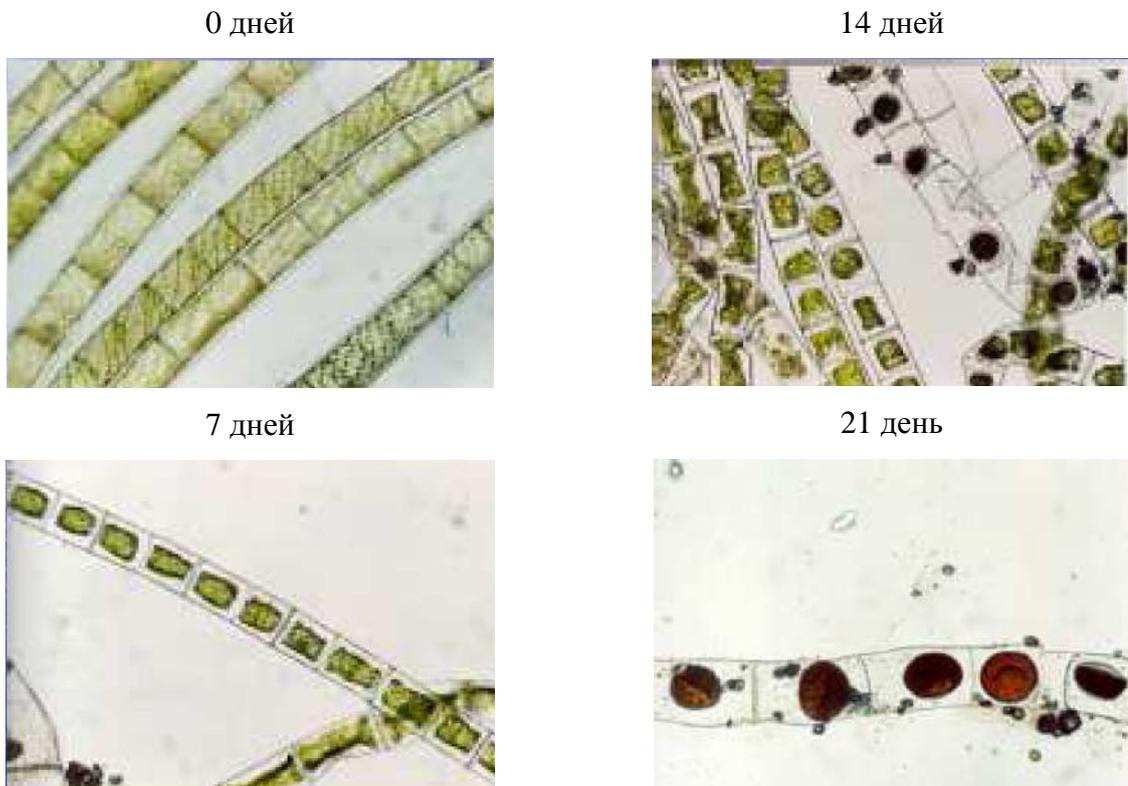


Рисунок 2.21 – Водоросли *Spirogyra*

4) Воздействие ультразвука на клетки цианобактерий

При оценке данного воздействия была выбрана теоретическая модель, представленная на рисунке 2.22.

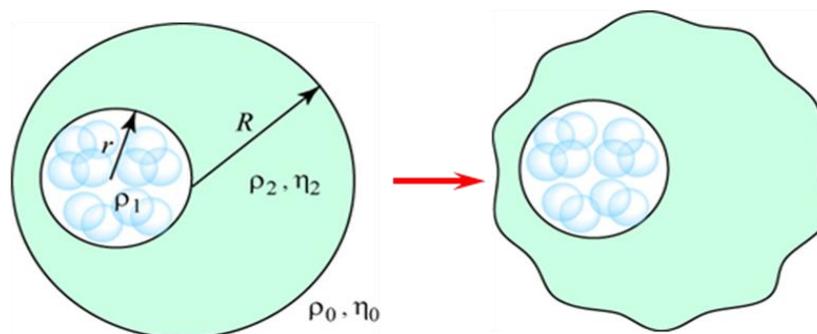


Рисунок 2.22 – Теоретическая модель клетки

Необходимые данные для описания модели:

- диапазон размеров r и R

- упругость и натяжение внешней оболочки
- давления внешнее и внутри цианобактерии
- плотности ρ_0, ρ_1, ρ_2
- вязкости η_0, η_1

Основное допущение модели заключается в наличии газового пузырька способного пульсировать.

Собственные моды радиальных пульсаций и поверхностных волн на внешней оболочке представлены на рисунке 2.23.

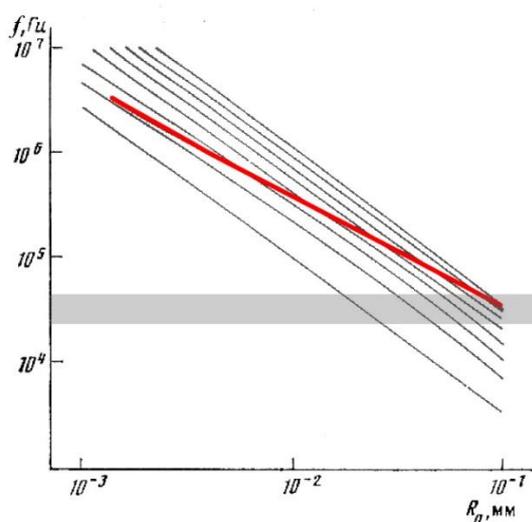


Рисунок 2.23 – Акустический журнал, 34, 6, с. 1023-1027 (1988), Горский С.М., Зиновьев А.Ю., Чичагов П.К

Исследование воздействия ультразвука на цианобактерии проводились с помощью флуоресцентной спектроскопии штамм *Microcystis firma* CALU 398 и дали следующие результаты (рисунок 2.24):

- Изменение в соотношении интенсивности пиков флуоресценции показывает нарушение отдельных связей внутри цепочки усвоения световой энергии (антенный комплекс – реакционный центр).
- Разница в интенсивностях флуоресценции вблизи 656 нм показывает, что облучаемые ультразвуком клетки цианобактерий находятся в угнетенном физиологическом состоянии, по сравнению с контрольными клетками.

- Облучение маломощным ультразвуком производит угнетающее воздействие на цианобактерии на клеточном уровне, которое может быть зафиксировано методами конфокальной микроспектроскопии.

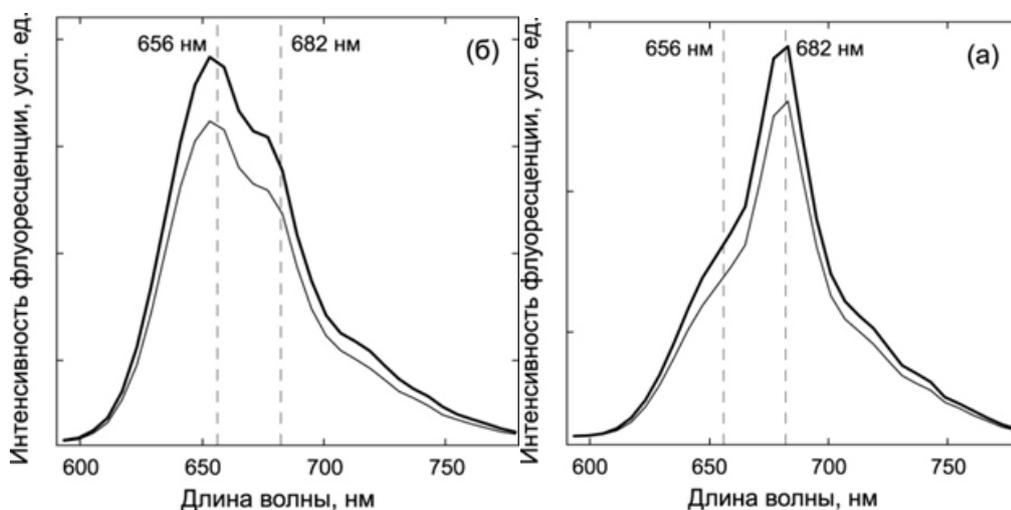


Рисунок 2.24 – Результаты флуоресцентной спектроскопии

В ходе исследований были выявлены следующие достоинства метода:

- Находясь под воздействием ультразвука, водоросли не воспринимают это как нападение или резкое изменение внешних условий, принимая его за течение. Поэтому они не производят для собственной обороны токсинов или других соединений.

- Ультразвуковые воздействия начинают постепенно снижать количество водорослей в водоеме, и доводят их до такого уровня, что предотвращается возникновение проблемы с появлением в воде достаточного объема химических веществ, способных вызывать изменение ее вкуса, запаха и токсичности.

- Кроме того, применяемые по этой технологии ультразвуковые методы воздействия на водоросли не нарушают внешней стенки клетки (повреждения происходят только внутри клетки), поэтому токсины и другие химические вещества, дающие вкус и запах не будут освобождены.

Однако не стоит забывать про виды микроорганизмов не подверженных воздействию ультразвуковой обработки представленных на рисунке 2.25.

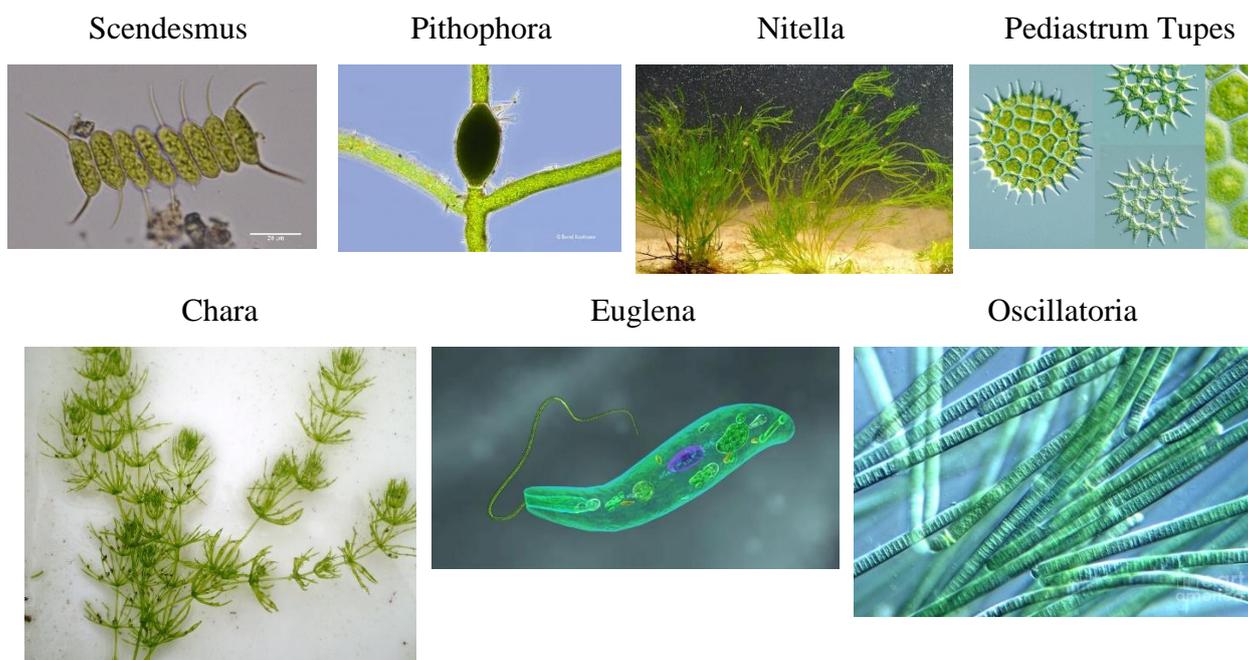


Рисунок 2.25 – Виды водорослей, не подверженные воздействию ультразвука

Обеззараживание воды ультразвуком в сравнение с другими технологиями довольно эффективен, не сопряжен с излишними затратами на реагенты, отличается пролонгированным действием. Только в последние годы появились доказательства опасности хлорных соединений. Их избыточная концентрация вредна для человеческого организма. Она же способна ухудшить работоспособность различных технических устройств. В частности, производители установок обратного осмоса обязательно указывают предельно допустимые концентрации данного вещества с целью предотвратить повреждение полупроницаемых мембран.

Из-за наличия таких существенных недостатков современных технологий, появились новые исследования в данной области и как итог – альтернативные решения. Наиболее приемлемой, с учетом всех важных параметров, является ультрафиолетовое обеззараживание воды. Далее проведём сравнение описанного в предыдущем пункте метода с ультразвуковым излучением.

Чтобы достичь требуемого обеззараживающего эффекта (на опытном образце с определенной концентрацией биологических примесей), десять литров жидкости необходимо облучать с помощью УФ ламп в течение часа. При этом было затрачено около 0,5 Вт электроэнергии. Аналогичный результат

был получен с использованием примерно 800 Вт и ультразвукового излучателя. Чрезмерные затраты – это первый основной недостаток метода. Интересно то, что экспериментально было подтверждено увеличение количества микроорганизмов при низких значениях времени обработки и интенсивности излучения. В таких случаях даже наблюдалось обратное (позитивное) влияние на их жизнедеятельность.

Иногда правильное использование методики обеззараживания воды ультразвуком способно обеспечить наличие так называемого синергетического эффекта, то есть существенное совместное улучшение полезных параметров. Если произвести ультразвуковую обработку перед облучением ультрафиолетом, то можно будет разрушить крупные механические частицы. В последующем губительное воздействие облучением на микроорганизмы (размещенные перед этим внутри подобных фракций) будет сильнее. Но подобные включения гораздо проще и дешевле задержать магистральными фильтрами.

Также эффективность УФ обработки существенно снижается при обрастании внешней поверхности ламп непрозрачных загрязнений. Такие образования возникают, например, если в исходной жидкости присутствуют соединения кальция и магния, определяющие уровень жесткости воды. При нагреве они преобразуются в накипь. Разрушение накипи, а также удаление ржавчины и других слоев производится иногда с использованием ультразвукового оборудования. Методика не является новой и довольно хорошо отработана, но ее применение не обходится без некоторых трудностей:

- Отсутствие точной локализации. Чтобы уничтожение вредных отложений происходило быстро, приходится увеличивать мощность излучения, что оказывает разрушительное влияние на сварные соединения, пайку, окрасочные, защитные и декоративные слои;
- Невозможность точного контроля, ввиду отсутствия визуального доступа. Невозможность проверки хода рабочих процессов ведет за собой

невозможность оптимизации длительность, интенсивность обработки и иных параметров.

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

2.6 Вывод по 2 главе

Для раскрытия проблемы отраженной в первой главе был рассмотрены основные технологические схемы обработки природной воды в России и влияние отдельных их элементов на конкретные микроорганизмы.

Обеззараживание воды включает две стадии, соответствующие двум различным действиям конкретного дезинфектанта:

- бактерицидное действие, т.е. способность разрушать микробы данной стадии обработки;

- остаточное действие, т.е. действие дезинфицирующего вещества, сохраняющегося в воде, в частности в распределительных сетях и позволяющее гарантировать бактериологическое качество воды вплоть до крана потребителя: это одновременно бактериостатическое действие по предотвращению оживления бактерий и бактерицидное действие против отдельных слабых и разовых загрязнений, появляющихся в сети, так же как и предотвращение развития микробеспозвоночных, устойчивые или репродуктивные формы которых могли бы пройти через станцию водоподготовки.

В таблице 2.5 приведены сравнительные данные по эффективности всех применяющихся дезинфицирующих средств.

Таблица 2.5 – Применяемые дезинфицирующие средства

Действие	O ₃	Cl ₂	ClO ₂	Хлорамины	Ультрафиолетовое облучение
Бактерицидное + антивирусное	+++	++	++	+	++
Цисты простейших	+	0	0	0	+++
Остаточное	0	+	++	+++	0

Проведённый анализ показал несовершенство современных схем водоочистки по отношению к текущему биологическому загрязнению.

Исходя из чего можно сделать вывод о том, что, не смотря на многообразие очистных сооружений традиционные технологии водоподготовки, предусматривают обработку воды по классическим двухступенчатым или одноступенчатым схемам, которые позволяют очистить воду от многих микроорганизмов, но не от продуктов их жизнедеятельности.

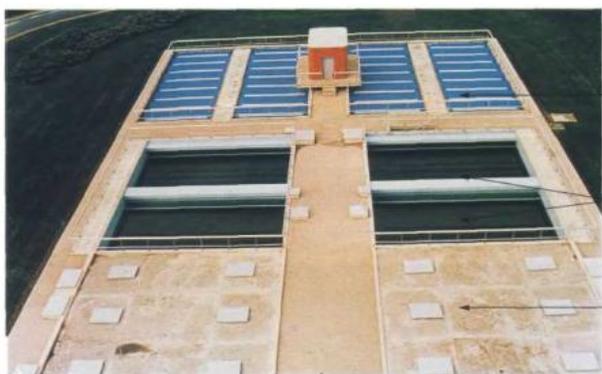
Ввиду чего появляется необходимость в детальном рассмотрении данной темы при разработке рекомендаций к проектированию принципиально новых схем очистки природной воды.

ГЛАВА 3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БОРЬБЕ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПРИРОДНЫХ ВОД МИКРООРГАНИЗМАМИ И ПРОДУКТАМИ ИХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

3.1 Проблемы, связанные с водорослями и зоопланктоном

Далее будут рассмотрены проблемы, касающиеся не только воды в состоянии эвтрофикации, где эти проблемы обычно доминируют, но также более или менее всех поверхностных вод, когда они имеют как минимум сезонный характер. Рассмотрим их последовательно:

— удаление фитопланктона, речь идет о суспензии микроводорослей в воде, часто путают эти проблемы водорослей с проблемами перифитона, смеси микро- и макроводорослей (чаще всего нитевидных), которые развиваются на погруженном носителе, в частности на стенах сооружений, открытых для доступа воздуха, если необходимо уберечь отстойники и фильтры от этого явления, в отсутствие предварительного хлорирования эффективным решением будет укрывание установки, например, непрозрачным пластиковым покрывалом или плитой (рисунок 3.1).



Отстойник (укрытый непрозрачной пленкой)

Фильтры с песком

Фильтры с ГАУ (укрытые плитой)

Рисунок 3.1 – Крытый отстойник Superpulsator на станции "Morsang-sur-Selne".

Производительность 75 000 м³/сут.

— удаление растворимых субстанций (метаболитов), выделяемых водорослями в среду их обитания,

— проблемы, связанные с зоопланктоном, которые можно разделить на две основные группы

- риск проникновения и развития микробеспозвоночных в сети распределения - проблема эстетическая, но вызывающая множество жалоб потребителей
- развитие цист простейших паразитов, среди которых паразиты *Cryptosporidium* являются наиболее опасными и наиболее трудными для удаления и, следовательно, могут служить типичными примерами для выработки стратегии [38].

Удаление планктонных микроводорослей

Микропроцеживание, используется при тканях, величина проходов в которых обычно составляет от 25 до 40 мкм. средняя степень удаления меняется от 40 до 70% в зависимости от популяции водорослей, отдельные наиболее мелкие виды (как диатомеи *Cyclotella*, *Stephanodiscus* или зеленые водоросли *Chlorella*, *Scenedesmus*), очевидно, удаляются в меньшей степени (иногда всего 10 %). по сравнению с многоклеточными (*Pediastrum*), образующими колонии (*Aslerionella*), или нитевидными (*Melosira*, *Oscillatoria*, *Anabaena*), удаление которых может достигать 70-100%.

Кроме того, подобная обработка очень мало влияет на мутность и потребность в коагулянтах. Таким образом, микропроцеживание может использоваться только в некоторых случаях перед прямой фильтрацией (медленной или быстрой) для удаления организмов, определенно больших по размеру, чем проходы, но не является собственно предварительной обработкой ни с технологической ни с экономической точек зрения в линиях полного осветления, применяемых для обработки воды, богатой микроводорослями.

Прямая фильтрация может осуществляться только совместно с коагуляцией-флокуляцией и применяется только к воде, содержащей достаточно мало водорослей и взвешенных веществ (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Свойства и пределы применения прямой фильтрации.

Используемое фильтрование	Песок 0,95 или 0,35мм	Двухслойный антрацит 1,4-2,6 мм, песок 0,7 мм	Двойная фильтрация
Скорость фильтрации, м3/ч	5-15 ¹	5-20 ¹	1,7-20 ¹ 2,5-15 ¹
Способность задерживание взвешенных веществ на единицу фильтрующей поверхности между двумя промывками кг/м2	1-6 ¹	2-10 ¹	-
Пределы применения -Максимальные значения, наблюдающиеся в исходной воде			
• Мутность, NTU	10-15	15-40	30-100
• Взвешенные вещества, мг/л	≤10	10-25	25-100
• Истинная цветность, мг/л Pt-Co	15-25	25-40	30-50
• Планктонные микроводоросли, ед/мл	1000	2500	5000
• Окисляемость KMnO ₄ , мгО/л	3-5	3-5	3-5
-Потребность в коагулянте, мг/л кристаллического сульфата алюминия или хлорного железа в 40%-м растворе	10-15	20-25	30-40
¹ Первая цифра относится к случаю, когда все показатели исходной воды являются неблагоприятными, вторая цифра – когда неблагоприятными является один из рассматриваемых показателей и его максимум наблюдается в течении ограниченного времени.			

Пределы применения этой технологии могут быть значительно расширены [5000 а.е.м./м^3 (а.е.м. — атомная масса элементов)], если либо использовать многослойные фильтры (на практике количество слоев может

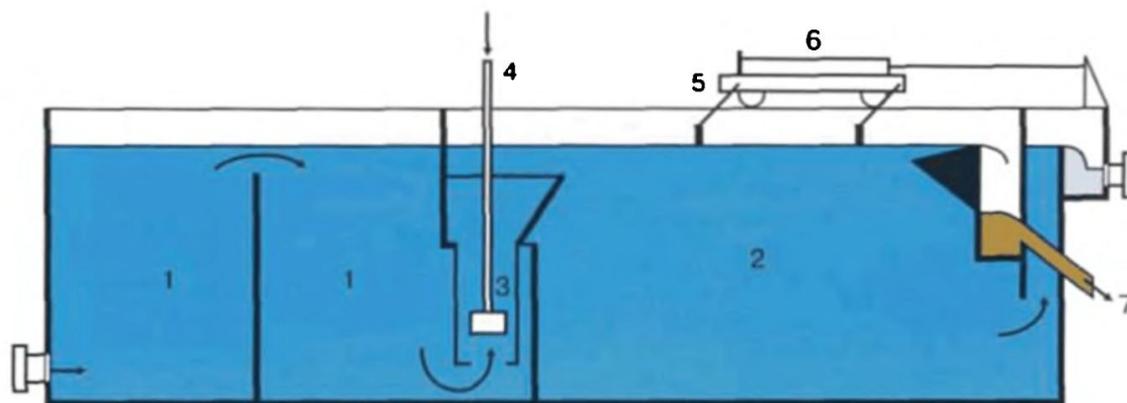
доходить до трех) с предварительным микропроцеживанием, либо проводить две последовательные фильтрации. Во всяком случае, выбираемая скорость фильтрации должна соответствовать поставленной задаче, если возможно, после пилотных испытаний.

Вода, содержащая очень много водорослей, должна обрабатываться на специальной технологической линии, включающей:

— предварительное окисление, в котором наиболее эффективным реагентом является хлор. Если же его использование невозможно (образование тригалоген-метанов и др.), то весьма эффективным оказывается хорошо отрегулированное предварительное озонирование;

— коагуляцию с дозой коагулянта, соответствующей не только достижению минимальной мутности, но и обращению в нуль дзета-потенциала, чтобы определить уровень обработки, надо, следовательно, проводить электрофоретические исследования на дзетаметре или подсчитывать количество водорослей в различных порциях воды, отстаиваемых в процессе проведения «жар-тестов»;

— отстаивание в аппарате со слоем взвешенного осадка (с пластинами или без них), более эффективном, чем статический отстойник, отстойник Den-sadeg дает также хорошие результаты, если мутность исходной воды меньше 25-30 NTU. Предпочтение может быть отдано напорной флотации, изображенной на рисунке 3.2 и 3.3, поскольку разделение фаз при этом оказывается более легким; кроме того, она часто дает более концентрированный осадок (до 25-30 г/л) и позволяет в некоторых случаях уменьшить дозы коагулянта.



Флокулятор

Флоратор

1 – флокулятор; 2 – флоратор; 3 – камера смешения; 4 – зона размещения системы форсунок; 5 – подвижный мостик; 6 – винтовой домкрат; 7 – плавающие продукты.

Рисунок 3.2 – Схема работы флоратора



Вход воды во флокулятор

**Уплотнённый слой флотопродуктов и
выход флотированной воды**

Рисунок 3.3 – Высокоскоростной прямоугольный флоратор, станция питьевой воды в Манаусе, Бразилия (8 камер флотации). Производительность станции $3,3 \text{ м}^3/\text{с}$, или $285\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Однако, если выбирают порошковый активированный уголь для решения проблем незначительного привкуса, запаха и/или токсинов, связанных с водорослями, или для решения других задач в связи с загрязнением органическими веществами, следует отдать предпочтение отстойнику со взвешенным слоем осадка, используемому самостоятельно или в рамках технологической линии обработки.

— фильтрацию на песке или двухслойной загрузке, необходимую для завершения осветления.

Если станция включает, кроме того, доочистку сочетанием O_3 + гранулированный активированный уголь, результат будет еще лучше; однако практически полное удаление микроводорослей может быть достигнуто только при мембранном процессе. В таблице 3.2 приведены данные по эффективности извлечения водорослей, которой можно ожидать от различных технологий, используемых в оптимальных условиях.

Таблица 3.2 – Удаление водорослей в различных технологических линиях

Обработка	Удаление, %	Lg снижения	
Микропроцеживание	40-70	0,2-0,5	
Прямая фильтрация	90-98	1-1,7	
Отстаивание + фильтрация	-без предварительного окисления -после предварительного хлорирования -после предварительного озонирования	95-99 99-99,9 97-99,8	1,3-2 2-3 1,5-2,7
Флотация + фильтрация	-без предварительного окисления -после предхлорирования или предозонирования	96-99 99-99,9	1,4-2 2-3
Предокисление + осветление + O_3 + гранулированный активированный уголь	99,9-99	3-4	
Мембраны (микрофильтрация, ультрафильтрация после отстаивания, или флотация (если требуется))	>99,9999	>6	

Удаление метаболитов водорослей

Среди субстанций, выделяемых водорослями в водную среду, наиболее важными в обработке воды являются вещества, обладающие привкусом и запахом, а также (водорослевые) токсины.

Обычные технологии осветления в основном неэффективны в отношении как привкуса и запаха, так и токсинов. Только озон хорошо удаляет некоторые привкусы и запахи, но его действие лишь частично распространяется на другие

вещества, особенно те, молекулы которых не содержат двойных связей или ароматических циклов (например, геосмин 2-МІВ — продукт жизнедеятельности сине-зелёных водорослей); сочетание $O_3 + H_2O_2$ (радикальное окисление по способу Perozone) дает лучшие результаты, но в сравнении с простым озонированием оно ведет к увеличенному образованию биологически разлагаемого растворенного органического углерода и побочных продуктов окисления органических веществ, в частности пестицидов, именно поэтому от него постепенно отказываются.

В отсутствие общего органического углерода токсины могут быть удалены озоном даже в малых дозах; в противном случае кинетика окисления природных органических соединений оказывается более быстрой и нужно добиваться существенного остаточного содержания O_3 (на практике — с величиной параметра СТ (С – остаточная концентрация окислителя, Т – время контакта), необходимой для обеззараживания); кроме того, возможные побочные продукты окисления токсинов еще недостаточно изучены.

Сорбция на гранулированном активированном угле (5-10 объемов воды на 1 объем угля в час) является лучшим решением для этих двух групп веществ. Но насыщение угля токсинами происходит гораздо быстрее (в течение нескольких месяцев), чем веществами, придающими привкусы и запахи (в течение несколько лет), и тем быстрее, чем больше в воде природных органических соединений. Однако, поскольку эти проблемы являются эпизодическими, особенно в отношении водорослевых токсинов, биологическая регенерация гранулированного активированного угля может производиться между двумя кризисными периодами, особенно в линиях с полной доочисткой ($O_3 +$ гранулированный активированный уголь), что является лучшим решением.

В отсутствие батареи фильтров с гранулированным активированным углём можно использовать порошковый активированный уголь, вводимый в отстойник со слоем взвешенного осадка, но и там тоже существует сильная конкуренция с природными органическими соединениями, которая может

быстро привести к росту потребности в реагентах выше экономически приемлемого уровня, если его использование будет частым; в таком случае представляет интерес использование порошкового активированного угля в рамках способа Criatal Etendu после удаления основной массы органических веществ на стадии осветления (рисунок 3.4); следует отметить, что очень важным является выбор типа порошкового активированного угля, поскольку необходимые дозы могут меняться в 1-5 раз в зависимости от его природы.

3.2 Проблемы, связанные с зоопланктоном и цистами простейших

Защита сетей от микробеспозвоночных

Во многих странах отказ от предварительного хлорирования сети усугубил проблемы их защиты от микробеспозвоночных. Возможные формы живых микроорганизмов (бентосовые виды, устойчивые или репродуктивные), колонизирующие сеть распределения, приносятся исходной водой, содержащей планктонные виды. Следовательно, необходимо не только блокировать весь зоопланктон (включая временно планктонные формы, яйца, цисты, личинки, бентосные организмы и др.) и фитопланктон, но и не допустить всякое развитие живых микроорганизмов внутри водопроводной станции (особенно в зернистой среде фильтров).

Другой фундаментальный принцип профилактики состоит в устранении всех питательных веществ, непосредственных (водоросли, бактерии и др. живые или мертвые; органические остатки) или потенциальных (биологически разлагаемых растворенных органических углеродов и/или NH_4^+), способных благоприятствовать оживлению бактерий, которые могли бы способствовать, в свою очередь, развитию живых микроорганизмов в сети. С учетом сказанного можно сформулировать некоторые рекомендации для решения этой проблемы:

— оптимизация осветления, глубокое снижение мутности, содержания общего органического углерода и фитопланктона;

— предварительное окисление и тщательное обеззараживание, даже в отсутствие бактериального загрязнения (желательно озонированием);

— фильтрация на песке, правильно спроектированная и эксплуатируемая (достаточно частая промывка воздух + вода даже при медленном засорении), недопущение при этом любых проскоков загрязнений;

— регулярная промывка фильтров с гранулированным активированным углём (летом по меньшей мере раз в неделю), в случае необходимости — хлорированной водой;

— опорожнение отстойников, как минимум, раз в год;

— обработка промывных вод фильтров, если они рециркулируют в голову сооружений;

— всегда достаточное содержание остаточного хлора в обработанной воде перед ее подачей в сеть распределения.

Кроме того, необходимо обеспечить тщательное обслуживание сети распределения, предусматривающее регулярную чистку резервуаров, промывку пожарных гидрантов, промежуточное хлорирование при необходимости.

Удаление цист простейших паразитов

В качестве модели здесь будут взяты ооцисты *Cryptosporidium*. В этом случае хлор и его производные неэффективны, удаление (выраженное в логарифмах снижения) количества ооцист на разных стадиях технологической линии обработки может быть оценено следующим образом (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Удаление ооцист на разных стадиях технологической линии обработки

Обработка	Lg снижения
1	2
предварительное хлорирование	0
предварительное озонирование	0-0,5

Продолжение таблицы 3.3

1	2
коагуляция на фильтре	1,5-3
отстаивание или флотация	1-2
фильтрация на песке	1-2
фильтрация на гранулированном активированном угле	0,5-1
озонирование (в зависимости от величины параметра СТ (С – остаточная концентрация окислителя, Т – время контакта))	0,5-1
ультрафиолетовое облучение (10-20 мДж/см ²)	3
Мембраны (микрофильтрации или УФ)	> 6

Общее снижение составляет сумму снижений на отдельных стадиях обработки. Например, технологическая линия, включающая предварительное озонирование, отстаивание и фильтрацию через песок, позволяет рассчитывать на снижение от 2 lg до 4,5 lg, фактически на правильно эксплуатируемых станциях оно достигает 4 lg (99,99 %), но доочистка сочетанием O₃ + гранулированный активированный уголь обеспечивает большую безопасность (решение проблем такого типа усилило концепцию мультибарьерной обработки). Надо отметить, что мембраны и ультрафиолетовое излучение дают лучшие результаты, чем другие технологии [39].

На обычных станциях рециркуляция промывных вод фильтров представляет собой потенциальную угрозу, приведенные выше численные значения показывают, что во избежание увеличения количества ооцист эти воды надо обрабатывать с потенциалом снижения по меньшей мере 2 lg.

3.3 Рекомендации по усовершенствованию схемы водоподготовки, используемой ООО «Автоград Водоканал»

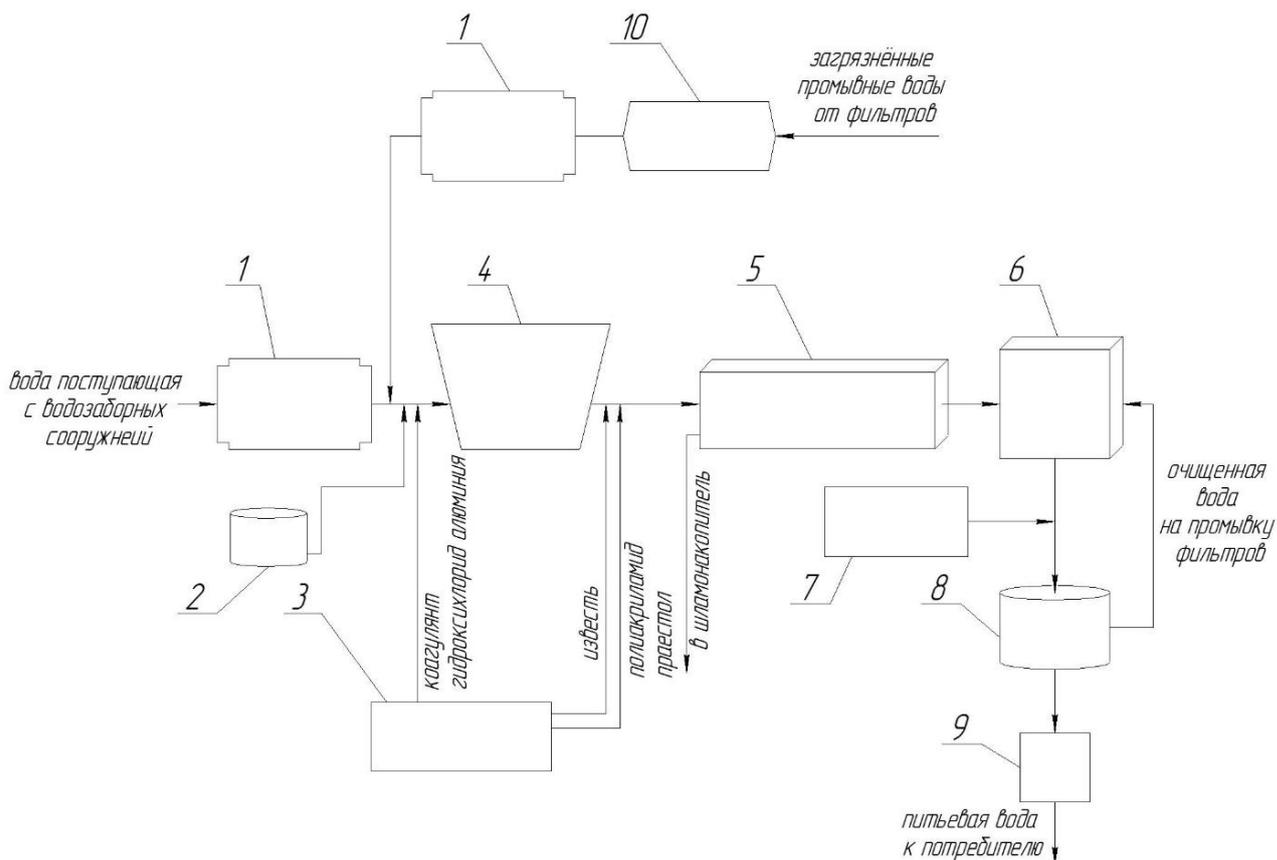
В первой главе данной диссертации было выявлено, что главными источниками загрязнений водоисточников являются водоросли бактерии, которые в процессе своей жизнедеятельности синтезируют разные одорирующие вещества. Проблемы, являющиеся основными, зачастую создает нахождение в воде 2-метилизоборнеола и геосмина, которые производятся цианобактериями и актиномицетами. Концентрация вышеперечисленных веществ в источниках водоснабжения способен доходить до микрограммов на литр, при том что ощущаться органами обоняния они начинают уже при концентрации порядка 5-20 нг/л. В связи с этим главным методом для оценки содержания в воде одорантов считается органолептический.

По данным филиала Приволжского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды вода Приплотинного плёса Куйбышевского водохранилища (0,5 км выше водозабора) соответствует III классу и оценивается как «умеренно загрязнённая». Ситуация ухудшается в период «цветения» воды. Как правило, образование водорослей происходит в июне, пик в июле и августе, а отмирание заканчивается в октябре. Вследствие чего в городе Тольятти, использующего этот водный объект в качестве источника водоснабжения, складывается напряженная ситуация с обеспечением населения водой питьевого качества [40].

Известно, что получившие широкое применение технологии и сооружения для очистки воды из поверхностных источников рассчитаны на извлечение из них загрязнений природного происхождения. Барьерная роль таких сооружений по отношению к [51] водоёмам в условия эвтрофикации и метаболитам, выделяемым микроорганизмами крайне низка. Многие действующие водоочистные станции, запроектированные по традиционной технологии (коагуляция, хлорирование, отстаивание и фильтрование), не

только не могут обеспечить [51] достаточную очистку, но, напротив, в ряде случаев способствуют повышению концентрации некоторых соединений. Например, предварительное хлорирование воды из поверхностных источников, как правило, приводит к образованию в обрабатываемой воде повышенных концентраций хлороформа и др. хлорорганических соединений [51].

На рисунке 3.4 представлена действующая технологическая схема водоподготовки, используемая на ООО «Автоград Водоканал».



1 – установка ультрафиолетового обеззараживания; 2 – ввод сорбента ПАУ; 3 – реагентное хозяйство; 4 – вертикальные смесители; 5 – горизонтальный отстойник со слоем взвешенного осадка; 6 – открытые скорые фильтры с керамзитовой загрузкой; 7 – хлораторная установка; 8 – резервуары чистой воды; 9 – насосная станция II-го подъёма; 10 – станция повторного использования воды с резервуарами.

Рисунок 3.4 – Технологическая схема подготовки питьевой воды ООО «Автоград Водоканал»

ВОС ООО «Автоград-Водоканал» занимается очисткой волжской воды до питьевого качества.

На очистных сооружениях водоподготовки применяются следующие методы очистки: УФ обеззараживание, коагулирование, отстаивание, фильтрация на скорых фильтрах, стабилизационная обработка, хлорирование.

Вода, пройдя ультрафиолетовую обработку, поступает в смесители по трубопроводам, куда подаётся коагулянт и при необходимости хлор. В качестве коагулянта на ОСВ применяется АКВА-АУРАТ. Указанный вид реагента более эффективный по сравнению с сернокислым глинозёмом, а его применение направлено на достижение нормативных требований к качеству питьевой воды по окисляемости и остаточному алюминию. В период недостаточной щёлочности обрабатываемой воды предусмотрено её подщелачивание известковым молоком с технической кальцинированной содой. Для интенсификации процесса очистки воды от взвесей добавляется флокулянт марки ПРАЕСТОЛ на выходе из смесителей. Для обеззараживания воды перед подачей её потребителям применяется жидкий хлор.

Заложенная в проекте схема не рассчитана на очистку от солей щелочности, жесткости, летучих фенолов, анионных поверхностно-активных веществ, сухого остатка и радиоактивности. Используемые технологии в основном позволяют производить лишь механическую очистку воды от дисперсных частиц. В то время как растворенные в воде вещества и ионы остаются. В какой-то мере органические вещества удаляются во время введения коагулянта и в установке ультрафиолетового обеззараживания, но при всё возрастающем органическом загрязнении этих мер уже недостаточно. Всё это говорит о том, что нынешняя система водоочистки не улавливает многие токсичные вещества и допускает их попадание в сеть распределения.

Исходя из отчёта по качеству природной поверхностной воды Куйбышевского водохранилища за период с 01.01.2017 г. по 31.12.2017 г. (таблица 1.5, Глава 1) можно сделать вывод о том, что по ряду показателей вода, забираемая из источника, не соответствует ПДК, а концентрация

зоопланктона и фитопланктона значительно возросла по сравнению с отчётом за 2014г (таблица 3.4 и таблица 3.5).

Таблица 3.4 – Превышение ПДК, согласно отчёту по качеству природной поверхностной воды Куйбышевского водохранилища за период с 01.01.2017 г. по 31.12.2017 г.

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	ПДК	Количество анализов	Концентрация			
					Min	Max	Среднее	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Водородный показатель (рН)	ед. рН	6,5-8,5	731	7,45	8,83	7,94	
2	Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	≤ 7	383	4,9	9,2	7,2	
3	Фенолы (общие и летучие)	мг/дм ³	≤ 0,001	13	менее 0,0005	0,00120	0,00052	
4	Марганец	мг/дм ³	≤ 0,1	13	0,010	0,148	0,040	
5	Цветность	градус цветности	≤ 35	763	19	44	31	
6	Зоопланктон	экз/м ³	-	54	0	1534	192	
7	Фитопланктон	диатомовые	кл./см ³	1000	54	менее 1	61	3
		сине- зелёные				менее 1	46	2
		зелёные				менее 1	6	1,3
8	Термотолерантные колиформные бактерии	КОЕ/ 100см ³	≤ 100	378	менее 5	240	менее 5	

Таблица 3.5 – Увеличение концентрации зоопланктона и фитопланктона, согласно отчёту по качеству природной поверхностной воды Куйбышевского водохранилища за период с 01.01.2014 г. по 31.12.2014 г.

№ п/п	Наименование показателей		Единица измерения	ПДК	Количество анализов	Концентрация	
						Max	Среднее
1	Зоопланктон		экз/м ³	-	40	-	88
2	Фитопланктон	диатомовые	кл./см ³	1000	54	40	-
		сине- зелёные				30	-
		зелёные				8	-

По данным многолетних наблюдений ИЭВБ РАН качество воды Куйбышевского водохранилища не соответствует нормативам, предъявляемым к источникам питьевого водоснабжения в течении всего года по химическому потреблению кислорода и перманганатной окисляемости (ПО) и в отдельные периоды по цветности, запаху и БПК. В период 2012-13 гг. изменение ПО наблюдалось в пределах 5,8 -13,8 мг/дм³, а изменение ХПК - в пределах 23-36 мг/дм³ при нормативах 5 мг/дм³ и 15 мг/дм³, соответственно [42].

В период массового развития водорослей ситуация с органическим загрязнением воды резко ухудшается, а в маловодные годы становится катастрофической. Повышение окисляемости летом связано с увеличением количества автохтонного органического вещества (ОВ) за счет интенсивного развития фитопланктона. Более того, доминирующие на плёсе виды сине-зеленых водорослей (*Microcystis*, *Anabaena* и *Aphanizomenon*) способны к продуцированию токсинов (микроцистины). В настоящее время известно более 70 структурных вариантов микроцистинов, наиболее токсичным является микроцистин-LR, для которого Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) рекомендована допустимая концентрация в воде на уровне 1 мкг/ дм³.

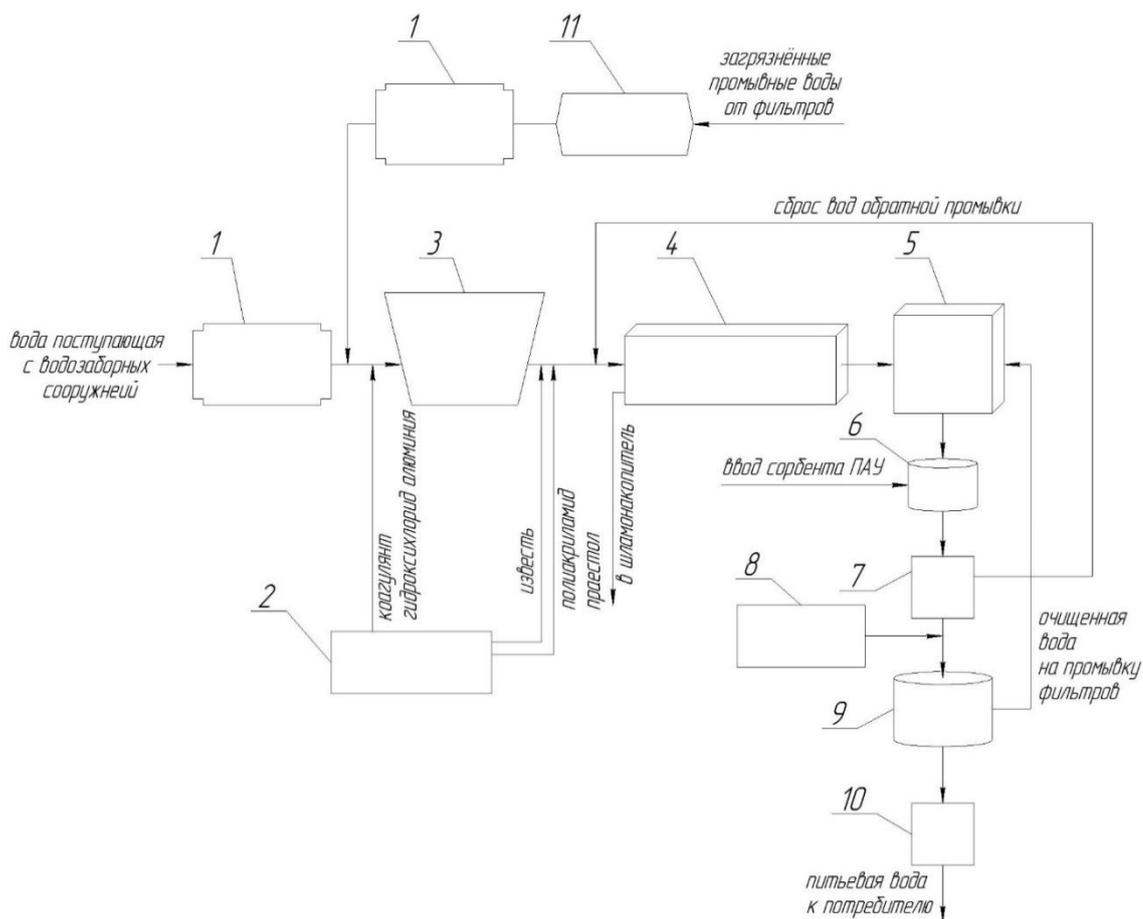
По данным многолетних наблюдений ИЭВБ РАН в различных кварталах Автозаводского района установлено, что показатели качества воды подаваемой потребителю время от времени не удовлетворяет предъявленные к ней

требования, по перманганатной окисляемости (ПО), цветности, запаху и остаточному хлору.

В условиях повышенного органического загрязнения, обеззараживание воды общепринятым способом хлорирования приводит к образованию токсичных хлорорганических соединений, например, летучих галогенорганических соединений - тригалогенметана (ТГМ). Результаты исследований [41] показывают, что в фильтрах проб с сине-зелеными водорослями после хлорирования заметен значительный рост ТГМ, хотя самих водорослей в фильтрах не обнаружено. Предшественниками ТГМ, скорее всего, являются метаболиты, выделяемые сине-зелеными водорослями, или продукты распада их водорослевой массы [42].

В связи с этим остро встаёт необходимость усовершенствования действующей схемы водоподготовки, путём проектирования системы доочистки, которая будет обеспечивать ее соответствие нормативным требованиям по показателям органического загрязнения.

На основе рекомендаций, изложенных в главе 3, п. 3.2 и 3.3 выбрана наиболее оптимальная доочистка вод Куйбышевского водохранилища – ввод сорбента ПАУ после скорых фильтров и ультрафильтрация (рисунок 3.5).



1 – установка ультрафиолетового обеззараживания; 2 – реагентное хозяйство; 3 – вертикальные смесители; 4 – горизонтальный отстойник со слоем взвешенного осадка; 5 – открытые скорые фильтры с керамзитовой загрузкой; 6 – контактный реактор с ПАУ; 7 – установка ультраfiltrации; 8 – хлораторная установка; 9 – резервуары чистой воды; 10 – насосная станция II-го подъёма; 11 – станция повторного использования воды с резервуарами.

Рисунок 3.5 – Рекомендации по усовершенствованию технологической схемы подготовки питьевой воды ООО «Автоград Водоканал»

Рекомендуемая технология доочистки выглядит следующим образом:

- установки УФ-обеззараживания;
- реагентное хозяйство;
- вертикальные смесители;
- горизонтальные отстойники с зоной взвешенного осадка и зоной осаднения;
- открытые скорые фильтры с керамзитовой загрузкой;
- контактный реактор с ПАУ;

- установка ультрафильтрации;
- хлораторная;
- резервуары питьевой воды;
- насосная станция 2-го подъема.

Сорбционная очистка используется с целью доочистки исходной воды от растворенных органических соединений, не подвергшихся естественному биологическому разложению и не извлеченных в ходе первичной физико-химической обработки. Главным образом активированный уголь применяется для улучшения органолептических характеристик воды, удаляя из нее вещества, придающие запах, привкус и цвет. Среди достоинств данного метода можно отметить: устранение загрязнений весьма обширной природы до любой остаточной концентрации, возможность управления процессом и отсутствие возможности вторичного загрязнения. Кроме того, данная ступень доочистки позволяет повысить надежность работы станции водоочистки и обеспечивает требуемые показатели качества воды.

В качестве сырья для изготовления активированных углей можно применять: древесина, уголь, полимеры и т.д. Но если требуется очистка больших объёмов воды применяются в основном угли высокой прочности на каменноугольной основе.

Согласно методу изготовления, активированные угли подразделяют на порошкообразные (ПАУ) и зернистые: дробленые или гранулированные (ГАУ).

Порошковый активированный уголь состоит из частиц величиной от десяти до пятидесяти микрон и чаще всего применяется в технологии осветления. При его непрерывной подаче в воду совместно с флокулянтами частицы угля встраиваются во флокулы и в последствии удаляются из воды вместе с осадком.

Для достижения максимального эффекта при использовании ПАУ рекомендуется использовать отстойник со взвешенным слоем осадка. Эти отстойники позволяют значительно увеличить время контакта между водой и углем и тем самым приблизить процесс насыщения угля к равновесному.

Именно поэтому при их использовании вместо обычного статического отстойника может быть получено то же качество воды с экономией ПАУ 15-40%.

Использование ПАУ в контуре рециркуляции установки ультрафильтрации позволяет удалять растворенные ОБ в дополнение к отделению взвешенных частиц на мембранах. В этом состоит суть предлагаемой системы доочистки. Отметим, что в этом случае частицы ПАУ извлекаются из мембран водой в процессе обратной промывки, которая затем направляется на вход в отстойник со взвешенным слоем осадка.

Порошковый активированный уголь обеспечивает высокую скорость адсорбции, поскольку молекулы адсорбента имеют прямой доступ к значительной поверхности микрочастицам адсорбента, и способствует процессу отстаивания, поскольку его частицы утяжеляют флоккулы [43].

УФ-мембрана свободно пропускает соли и задерживает лишь наиболее крупные растворенные формы (макромолекулы) и некоторые специфические частицы, такие как вирусы, бактерии, коллоиды и др., снижая при этом мутность воды и потребность в химреагентах.

Для водоподготовки в промышленности наибольшую популярность приобрели мембраны, изготавливаемые из полых волокон диаметром порядка 0,5-1,5 мм с плёнкой на внутренней поверхности (мембраной ультрафильтрации).

Как правило, ультрафильтрационная установка осуществляет свою работу без сброса концентрата – в режиме "тупиковой фильтрации". Данный процесс проходит поочередно с обратной промывкой мембран от накапливаемых загрязняющих веществ. Для этого часть уже очищенной воды подается на мембрану в обратном направлении в количестве не более чем 10-20% от объёма исходной воды. Время от времени в воду, поступающую на промывку дозируется раствор моющих реагентов. Один-два раза в год выполняется интенсивная циркуляционная промывка с применением специальных моющих растворов [44].

Обработка воды с учётом доочистки делится на следующие этапы:

- удаление взвешенных веществ из исходной воды – отстойник;
- удаление гуминовых кислот - коагуляция при кислотном значении pH и в контакте с осадком;
- удаление остаточных растворённых загрязнений - специфическая адсорбция;
- отделение адсорбента, окончательное осветление и обеззараживание - УФ мембрана;
- сохранение эффекта последствия – хлорирование с достаточным содержанием остаточного хлора в обработанной воде перед ее подачей в сеть распределения (в среднем 0,2 мг/л, что мешает развитию яиц, выживших в процессе обработки воды).

Преимущество данного способа заключается в следующем: воды от обратной промывки мембран, которые содержат активированный уголь, не полностью насыщенный во время контакта с уже очищенной перед ультрафильтрацией водой, имеет резерв сорбционной ёмкости, которая будет полностью использована при соответствующем времени контакта с растворёнными в большом количестве органическими веществами в отстойнике со взвешенным слоем осадка. В отстойнике уголь улавливается и концентрируется в слое осадка. В результате такой рециркуляции значительно снижаются потери воды в системе от 8-10%, обычно необходимых для обратной промывки мембран, до менее 2% (потери с отводимым из отстойника осадком). При соблюдении достаточного времени контакта уголь не будет перенасыщаться и высвобождать микрозагрязнения.

Ультрафильтрация позволит в требуемой степени справиться и с суспензией планктонных микроводорослей и с удалением ооцист простейших.

3.4 Рекомендации по сокращению биологического загрязнения

Цикл азота и фосфора

Процесс антропогенного эвтрофирования – актуальная составляющая общей проблемы водной безопасности последних десятилетий его результатом является ускорение биологической продуктивности водных объектов в результате хозяйственной деятельности, приводящее к серьезным структурным преобразованиям водных сообществ, усилению развития фотосинтезирующих организмов.

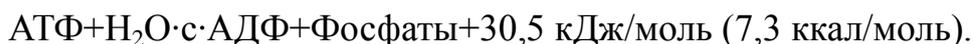
Основной фактор, определяющий интенсивность процессов эвтрофирования (массового развития водорослей и бактерий): избыточное поступление в водный объект биогенных элементов: азота и фосфора, в первую очередь – фосфора.

Азот и фосфор составляют значительный процент бактериологической массы, которым нельзя пренебречь. Можно указать следующие средние значения:

N — от 7 до 10%, P — от 2 до 7%.

Азот и фосфор играют большую роль в составе и метаболизме клетки. Фосфор участвует главным образом в механизмах запасания или высвобождения энергии. Этот энергетический запас аккумулируется в фосфорных связях P-P, существующих в особых молекулах аденозинмоно-, ди- и трифосфорных кислот (АМФ, АДФ, АТФ) [45].

Высвобождение энергии происходит при разрыве фосфорных связей, ведущем к переходу от АТФ к АДФ и к АМФ:



В качестве микроэлементов выступают главным образом металлы. Микроэлементы необходимы для жизни бактерий, и концентрации порядка микрограмма на литр в воде более чем достаточно для роста клеток. При более высоком содержании микроэлементы быстро становятся токсичными. Они

регулируют многочисленные процессы в клетке, такие как трансмембранный градиент ионов (Na^+), а также участвуют в образовании некоторых макромолекул, объединенных в ферментативные комплексы.

Потребность в микроэлементах является общей для всех групп бактерий, но некоторые специфичны для той или иной группы. Так, никель необходим для ферментов, регулирующих метилирование ацетата метаногенных бактерий, и поэтому без него не обойтись в процессе метанового сбраживания.

Цикл азота схематически изображен на рисунке 3.6.



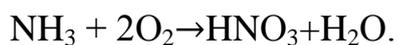
Рисунок 3.6 – Биогеохимический цикл азота

В аэробной среде азотные органические соединения превращаются в соли аммония (аммонификация), а затем окисляются в нитриты и нитраты, потребляя кислород. Эти реакции составляют процесс нитрификации:

- нитритация происходит под действием нитритных бактерий: *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosospira*, *Nitrosogleaw* др.;
- нитратация — под действием нитратных бактерий: *Nitrobacter*, *Nitrocystis*, *Vactoderma*, *Macroderma* и др.

Все эти бактерии — автотрофы и строгие аэробы. Они используют энергию реакций окисления аммиака и нитритов для восстановления минерального углерода, получаемого из углекислого газа или карбонатов.

Чтобы реакция прошла полностью, необходимо 4,6 мг кислорода на 1 мг окисляемого азота согласно следующему упрощенному уравнению:



В действительности окисление всего аммонийного азота доходит только до стадии нитрата (образование промежуточных органических веществ, составляющих биомассу бактерий), и для этого достаточно 4,2 мг кислорода на 1 мг азота.

Процесс нитрификации снижает содержание кислорода в водоемах, так же, как и ассимиляция органического загрязнения. Но нитраты образуют резерв кислорода, который возвращается при реакции денитрификации, происходящей в восстанавливающей (без поступления кислорода) среде. Таких условий не следует ожидать в речных потоках, но они существуют в толще донных отложений, и эти реакции играют важную роль при формировании состава грунтовых вод.

Присутствие фосфора в воде обусловлено:

- природными источниками (эрозия, вымывание);
- рассеянными (удобрения) или локальными (стоки, особенно содержащие детергенты, к которым часто добавляют фосфаты) загрязнениями.

Различают следующие формы фосфора:

- минеральные растворимые (ортофосфаты, полифосфаты);
- органические растворимые;
- минеральные частицы (апатиты, фосфат железа, фосфаты, адсорбированные на ВВ);
- органические частицы (вещества живой клетки — ДНК, РНК, АТФ; фекалии и др.) [46].

На рисунке 3.7 представлен цикл фосфора в природных водах.

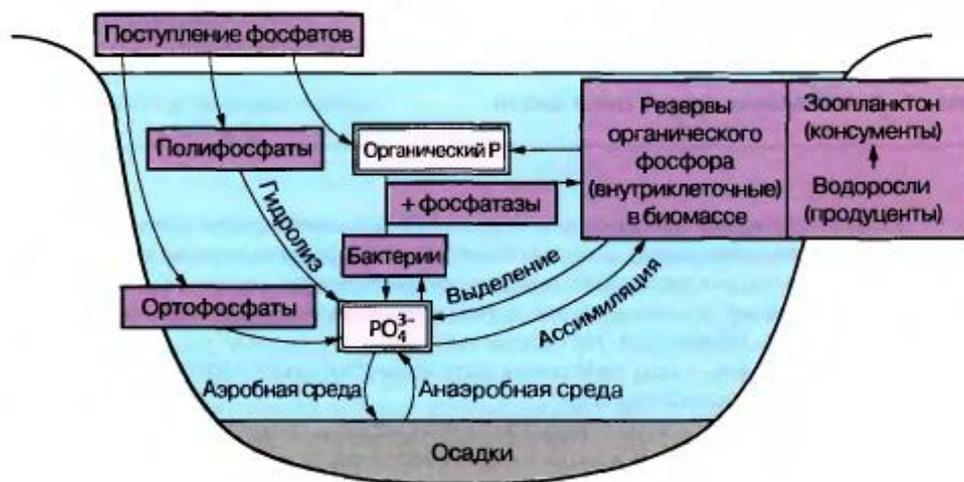


Рисунок 3.7 – Цикл фосфора в воде

Для своего развития водоросли и бактерии используют в основном ионы PO_4^{3-} (переход которых в раствор происходит под действием микробов, в частности, при выделении ими минеральных или органических кислот). Тем не менее они способны также усваивать растворимые органические соединения фосфора благодаря особым ферментам, называемым кислыми или щелочными фосфатазами (в зависимости от величины рН, соответствующей их максимальной активности).

В течение жизни водных организмов и после их смерти выделяется фосфор, органический (растворимый и нерастворимый) или минеральный; все эти формы поступают в оборот в соответствии с различными механизмами, указанными выше, либо после минерализации бактериями.

Кроме того, существуют два встречных пути обмена фосфором между водой и донными отложениями:

- осаждение в аэробных условиях (в форме апатитов, солей железа и т. д.);
- растворение в анаэробных условиях (восстановление фосфатов в фосфиты и фосфины, растворение двухвалентного железа) [47].

Запасы фосфора, содержащиеся в биомассе и отложениях, поддерживают условия эвтрофикации соответствующих водоемов ввиду чего за основополагающую стратегию по борьбе с размножением микроорганизмов

принято сокращение его поступления в поверхностные воды и снижение его биодоступности [48].

Удаление фосфора из сточных вод осуществляется путём биологической дефосфации. Сущность метода заключается в том, что фосфор исходной воды поглощается клеточной биомассой, а затем с избыточным илом выводится из системы.

Некоторые бактерии, известные как организмы, аккумулирующие фосфат (в англоязычной литературе PAOS— phosphate accumulating organisms), обладают свойством концентрировать фосфор в форме гранул полифосфатов, если их подвергать поочередному воздействию анаэробных и аэробных условий.

В результате содержание фосфора в PAOS может достигать 20-30 %, тогда как в гетеротрофных бактериях оно обычно составляет 1,5-2,0 % от содержания СВ.

В качестве превентивных мер для предотвращения эвтрофикации были рассмотрены следующие:

- Снижение внешней нагрузки;
- Нормирование внешней нагрузки;
- Снижение токсикогенной нагрузки;
- Снижение внутренней нагрузки.

Снижение внешней нагрузки

Самым первым шагом является снижение внешней нагрузки - поступления промышленных, ливневых и т.п. сточных вод (превентивные методы). Внешняя нагрузка обычно вносит наибольший вклад в содержание биогенов и загрязнение внутригородских водных объектов.

С 2019 года планируется переход на наилучшие доступные технологии (НДТ) при организации очистки промышленных сточных вод, отводимых в водные объекты.

Количественная оценка антропогенной нагрузки на водные объекты в результате сброса поверхностных сточных вод представлена на примере

территории г. Казань (рисунок 3.8). В ходе экспедиционных выездов 2013–2015 гг. исследованы 44 выпуска поверхностных сточных вод в водные объекты г. Казани.

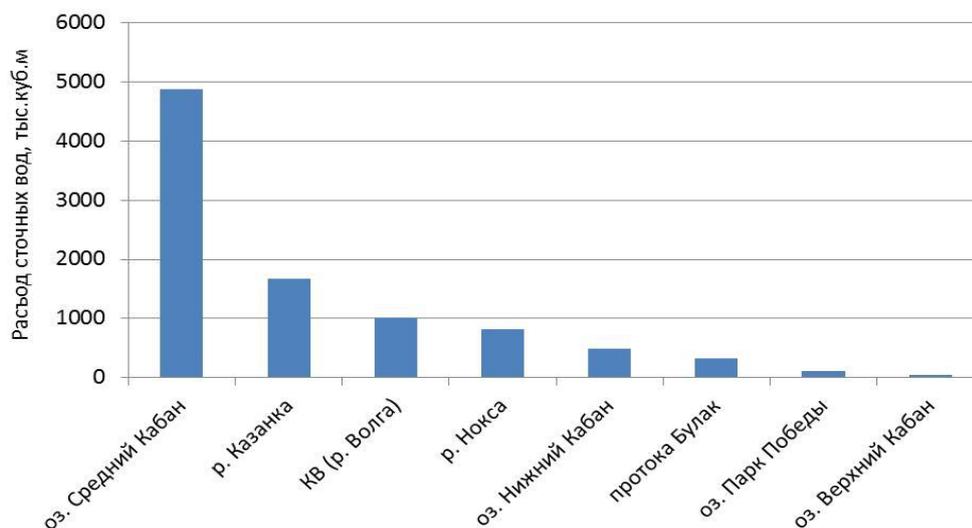


Рисунок 3.8 – Промышленный сток с промышленно-урбанизированных территорий Казани

Нормирование внешней нагрузки

Среди перспективных практико-ориентированные направления научных исследований для эффективного управления внешней нагрузкой ливневой канализации на поверхностные воды внутригородских водных систем можно отметить разработку (на базе данных регулярного мониторинга), утверждение и соблюдение нормативов допустимых вредных воздействий и нормативов допустимых сбросов (НДС) на выпусках поверхностного ливневого стока с учетом ассимилирующей способности водной экосистемы и основных экологических требований к качеству водных и водных биологических ресурсов в соответствии с водным законодательством.

С 2001 г. в РФ введен в действие специальный вид наблюдений - подсистема мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем.

Предлагаемая нормативная база для подсистемы мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем состоит из следующих пунктов:

- Нормирование запаса минеральных форм азота и фосфора в водной среде.

По результатам многолетнего ежегодного и ежесезонного мониторинга фоновое содержание нитрат- и фосфат-ионов ниже установленных нормативов содержания загрязняющих веществ:

$$C_{\text{ф}} < \text{ПДК}_{\text{р/х}} \quad (3.1)$$

Однако, опасность биогенов состоит не в токсичности в отношении гидробионтов (что лежит в основе ПДК), а в стимулировании процессов эвтрофирования. В этом случае ПДК_{р/х} теряет смысл.

Перспективные практико-ориентированные направления научных исследований для оздоровления экосистемы:

— Разработка и утверждение на региональном уровне нормативов содержания биогенных элементов (ионные и общие формы) для мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем.

- Нормирование содержания цианотоксинов, продуцируемых в исследуемом водном объекте.

Первичные скрининговые исследования (КФУ, 2011) токсикологического эффекта массового развития водорослей, вызванный совокупностью выделяемых микроцистинов - самых известных и широко распространенных цианотоксинов в пресных водах представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Кратность превышения рекомендуемых ВОЗ нормативов суммарного содержания микроцистинов в водных объектах разного типа в пределах РТ [49]

Куйбышевское водохранилище			р. Кама (район г.Лаишево)	р. Меша (район п.г.т. Пестрецы)	Озеро Нижний Кабан (центр г. Казани)
Вода водоисточников	Рекреационная зона (русовая часть водохранилища)				
Выше Волжского водозабора г. Казани	Н. Услон, станция 1	Н. Услон, станция 2			
1,48	0,71	5,72	0,50	0,45	1,52

В период цветения воды Куйбышевского водохранилища значительно возрастает экологический риск здоровью взрослого и детского населения. На основе расчета средней суточной дозы воздействия и индекса (HQ_i) опасности развития заболевания по руководству Минздрава России показано, что: уровень риска здоровью населения меняется от низкого ($HQ_i 0,02 < 1$) до опасного ($HQ_i 14,04 > 10$); уровень риска для детского населения в среднем в 4,7 раза выше, чем для взрослого населения.

Перспективные практико-ориентированные направления научных исследований для оздоровления эвтрофных водных систем:

— Разработка и утверждение на региональном уровне нормативов содержания опасных цианотоксинов, соответствующих повышенному риску неблагоприятного воздействия на здоровье населения;

— Обоснование критических уровней численности токсикогенных сине-зелёных водорослей в поверхностных водах и других водных объектов при различных видах водопользования.

— Нормирование критических уровней численности водорослей, соответствующих повышенной вероятности неблагоприятного воздействия на здоровье человека.

Снижение токсикогенной нагрузки

Перспективные практико-ориентированные направления научных исследований для оздоровления экосистемы эвтрофного водного объекта:

— Разработка инновационной системы раннего оповещения о потенциальной опасности массового развития цианобактерий для оперативного управления качеством водных ресурсов РТ при различных видах водопользования (например, в рекреационных зонах, в воде водоисточника для производства питьевой воды).

Снижение внутренней нагрузки

Перспективные практико-ориентированные направления научных исследований для оздоровления экосистемы эвтрофного водного объекта: оценка запасов биогенов в донных отложениях, риска их перехода из донных

отложений в воду и обоснование мероприятий по предупреждению и сокращению вторичного загрязнения поверхностных вод биогенными элементами.

В качестве научно-технического сопровождения практических решений по контролю и снижению интенсивности процессов эвтрофирования:

— Для обеспечения безопасности водных биологических ресурсов и здоровья населения необходимо разработать программу мониторинговых исследований;

— Разработать мероприятия по снижению внешней нагрузки на водный объект;

— Обосновать нормативы содержания наиболее распространенных цианобактерий;

— Обосновать нормативы содержания экологически безопасных уровней цианотоксинов в воде при различных видах водопользования;

— Обосновать нормативы содержания биогенов в системе мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем;

— Обосновать риск перехода биогенов в воду из донных отложений для разработки мероприятий по снижению внутренней нагрузки на водный объект;

— Внедрять передовые инновационные технологии по предотвращению процессов эвтрофирования (исключению первопричины «цветения») водоемов и безопасному уничтожению цианобактерий в периоды их взрывного развития, системы оповещения о так называемой «сине-зелёной» опасности.

3.5 Вывод по 3 главе

Исходя из многообразия продуктов жизнедеятельности водных микроорганизмов и информации, проанализированной в первых двух главах, можно сделать следующие выводы:

1) Необходимо пересмотреть подход к выбору схемы водоочистки с учётом выявленных проблем отмеченных при обработке питьевой воды на текущих схемах водоочистки;

2) Помимо усовершенствования существующих схем, требуется рассмотреть возможность сокращения биологического загрязнения водоёмов путём очистки сточных вод от избытка азота и фосфора.

Принятие данной совокупности представленных методов необходимо для снятия нагрузки на водозаборные сооружения и улучшения качества питьевой воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Биологическое загрязнение не воспринимается как первоочередная проблема в сфере обработки природной воды, к этому привело отсутствие ограничений по концентрации микроорганизмов, наносящих вред системе водоснабжения и продуктов их жизнедеятельности в нормативной документации.
2. Традиционные технологии водоподготовки, предусматривают обработку воды по классическим двухступенчатым или одноступенчатым схемам, которые не позволяют очистить воду не только от всех микроорганизмов, но и не предусматривает удаление продуктов их жизнедеятельности.
3. При разработке и проектировании схем водоочистки, необходимо учитывать специфику биологического загрязнения конкретного водоисточника.
4. Для комплексного решения данной проблемы, помимо усовершенствования существующих схем водоподготовки, требуется снижать биогенную нагрузку на водоисточники, за счёт внедрения глубокой очистки сточных вод.

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>
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>
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. Ведерников В. И. Влияние факторов среды на величину ассимиляционного числа в природных популяциях морского фитопланктона // Экология и биогеография планктона. М.: Наука, 1976. С. 106–129.
7. Ведерников В. И. Сезонные изменения ассимиляционного числа у морского фитопланктона // Элементы водных экосистем. М.: Наука, 1978. С. 18–31.
8. Иватин А. В. Продукция фитопланктона и деструкция органического вещества в Куйбышевском водохранилище в 1966 г. // Гидробиол. журн. 1974. Т. 10, № 3. С. 65–68.
9. Иватин А. В. Микробиологическая характеристика Куйбышевского водохранилища в 1965 г. // Микробиология. 1968. Т. 37, вып. 2. С. 360–366.

10. Дзюбан Н. А. О районировании Куйбышевского водохранилища // бюл. ин-та биол. водохранилищ АН СССР. 1960. № 8–9. С. 53–56.
11. Корнева Л. Г. Современное состояние фитопланктона водохранилищ Верхней Волги // Биологические ресурсы, их сохранение и использование. Ярославль: ЯрГУ, 1999. С. 81–91.
12. Карюхина Т. А., Чурбанова И. Н. Химия воды и микробиология. - М.: Стройиздат, 1983. - 169 с.
13. Журнал СОК, Выпуск №8, 2005г [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.c-o-k.ru/articles/problemy-mikrobiologicheskikh-zagryazneniy-sistem-vodosnabzheniya>
14. Шеховцова Н. В. Экология водных микроорганизмов: учебное пособие / Н.В. Шеховцова; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ. 2008. –132с.
15. Algae-bacteria interactions: Evolution, ecology and emerging application // Biotechnology Advances, Volume 34, Issue 1, January–February 2016 [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://ac.els-cdn.com/S0734975015300586/1-s2.0-S0734975015300586-main.pdf?tid=30e770e4-e697-11e5-9041-00000aacb362&acdnat=14575974541e302bad38b03af788ba0c8f53c86084>
16. Михеева Т. М. Оценка продукционных возможностей единицы биомассы фитопланктона // Биологическая продуктивность евтрофного озера. М.: Наука, 1970. С. 50–70.
17. Поддубный С. А. Гидрологические условия формирования и повышения биологической продуктивности экосистем волжских водохранилищ: Автореф. дис. д-ра геогр. наук. М.: 2000. 41 с.
18. Ведяпина В. О., Селезнев В. А. О влиянии водных микроорганизмов на обработку природной воды // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: XV Международная научно-практическая конференция / МНИЦ Пензенский ГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2017. – 116 с.

19. Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод. 2-е изд., перераб. и доп. – К: Вища шк. Головное изд-во, 1986. –352с.
20. ООО «Издательство ВСТ», журнал «Водоснабжение и санитарная техника». 1999-2013 гг.
21. Издательство: ООО "ИД "Панорама" Журнал Водочистка-№ 07-2016 01/07/16 [Электронный ресурс], Режим доступа: <https://pressa.ru/ru/magazines/vodoochistka#/>
22. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
23. Самбурский Г. А., Пестов С. М. Технологические и организационные аспекты процессов получения воды питьевого качества – 2016г. ISBN 978-5-4483-5369-7
24. Кожевников А. Б., Петросян О. П. Современные системы водоподготовки станций централизованного водоснабжения // Стройпрофиль 2-1-06
25. Феофанов Ю. А. Проблемы и задачи в сфере обеспечения населения питьевой водой // Вода и экология. 1999, № 1.
26. 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.
27. Кожевников А. Б., Петросян О. П. Промышленная и эпидемиологическая безопасность при обеззараживании питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2005, № 5.
28. Подковыров В. П., Привен Е. М. Опыт МГП «Мосводоканал» по реконструкции объектов, использующих жидкий хлор // Водоснабжение и санитарная техника. 2004, № 8, ч. 1.
29. Журавлевич Н. Е. Обеззараживание питьевой воды: метод. рекомендации / Н. Е. Журавлевич. – Минск : БГМУ, 2017 г. – 26 с.

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

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

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

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

34. Бутин В. М., Волков С. В., Костюченко С. В., Кудрявцев Н. Н., Якименко А. В. Обеззараживание питьевой воды УФ – излучением. Водоснабжение, №12 – 96. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.waterland.ru>.

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

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

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

38. Ведяпина В. О., Селезнев В. А. О борьбе с загрязнением природных вод микроорганизмами и продуктами их жизнедеятельности // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сборник статей XX Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – 98 с.

39. Ngoc Lieu Le, Suzana P. Nunes Materials and membrane technologies for water and energy sustainability Sustainable Materials and Technologies, 2016 [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://ac.els->

cdn.com/S2214993715300105/1-s2.0-S2214993715300105-main.pdf?_tid=df58bbe6-e693-11e5-9041-00000aacb362&acdnat=1457596028ad0ead2d9f3a7f66c634204fdbcafaa7

40. Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://dlib.rsl.ru>

41. 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. Эльпинера Л.И., [электронный ресурс]. М-2008. ISBN 978-5-9900677-7-6.

42. Селезнева А. В., Селезнев В. А., Сайридинов С. Ш. Экологическое нормирование биогенной нагрузки на источники питьевого водоснабжения (на примере Саратовского водохранилища) // Вода MagaZine (для профессионалов водного рынка). М., 2012. №4. С. 40-43

43. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. – Л.: Химия, 1982. – 168 с., ил.

44. YongHong Li, Jun Wang, Wei Zhang, XiaoJian Zhang, Chao Chen Effects of coagulation on submerged ultrafiltration membrane fouling caused by particles and natural organic matter (NOM) // Environmental Engineering, 56, February 2011 [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://paperity.org/p/3917724/effects-of-coagulation-on-submerged-ultrafiltration-membrane-fouling-caused-by-particles>

45. Md. Hanif Uddin, Md. Shahjahan, A.K.M. Ruhul Amin, Md. Mahfuzul Haque, Md. Ashraful Islam, M. Ekram Azim Impacts of organophosphate pesticide, sumithion on water quality and benthic invertebrates in aquaculture ponds // Aquaculture Reports, Volume 3, May 2016 [Электронный ресурс] – режим доступа: http://ac.els-cdn.com/S2352513416300023/1-s2.0-S2352513416300023-main.pdf?_tid=8cac98a6-e696-11e5-96c8-00000aacb35f&acdnat=14575971789695443293d1013c30007bf83a55de2a

46. Коплан-Дикс И. С., Алексеев В. Л. Развитие эвтрофирования вод суши как следствие эволюции круговорота фосфора // Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод. Л.: Наука, 1988 а. С. 10–21.

47. Коплан-Дикс И. С., Алексеев В. Л. Природная и антропогенная составляющие круговорота фосфора // Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод. Л.: Наука, 1988 б. С. 136–156.

48. Никитин О. В., Степанова Н. Ю., Мукминов Н.М. Индикация цианотоксинов в природных водах Республики Татарстан // Уч. Зап. КГАВМ. 2012. Т. 212. С. 341–344.

49. H. Boyer, Treavor Removal of Dissolved Organic Matter by Magnetic Ion Exchange Resin Water pollution, 11 August 2015 [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/282553715 Removal of Dissolved Organic Matter by Magnetic Ion Exchange Resin](https://www.researchgate.net/publication/282553715_Removal_of_Dissolved_Organic_Matter_by_Magnetic_Ion_Exchange_Resin)

50. Чем опасно хлорирование водопроводной воды [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://kurs.znate.ru>

51. Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://meganorm.ru>

52. Ультрафиолетовое обеззараживание воды, УФ обеззараживание воды, обеззараживание воды ультрафиолетом. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://lektsii.org>

53. Обеззараживание воды [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://cawater-info.net>