

**Н. Е. ЖУРАВЛЕВИЧ**

**ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ  
ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

Минск БГМУ 2017

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ГИГИЕНЫ ТРУДА

**Н. Е. Журавлевич**

# **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

Методические рекомендации



Минск БГМУ 2017

УДК 614.777(075.8)  
ББК 51.21я73  
Ж91

Рекомендовано Научно-методическим советом университета  
в качестве методических рекомендаций 15.06.2016 г., протокол № 10

Рецензенты: канд. мед. наук, проф. В. И. Дорошевич; канд. мед. наук, доц.  
Ж. П. Лабодаева

**Журавлевич, Н. Е.**  
Ж91 Обеззараживание питьевой воды : метод. рекомендации / Н. Е. Журавлевич. –  
Минск : БГМУ, 2017 г. – 26 с.

ISBN 978-985-567-691-2.

Изложены современные методы и способы обеззараживания питьевой воды.  
Предназначены для студентов 4–6-го курсов медико-профилактического факультета.

УДК 614.777(075.8)  
ББК 51.21я73

ISBN 978-985-567-691-2

© Журавлевич Н. Е., 2017  
© УО «Белорусский государственный  
медицинский университет», 2017

## МОТИВАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕМЫ

Питьевая вода — прекрасная среда обитания для возбудителей инфекционных заболеваний. Водным путем передаются брюшной тиф, холера, паратифы, дизентерия, амебиаз, энтеровирусные заболевания, инфекционный гепатит, лептоспироз, туляремия, лямблиоз, балантидиоз, некоторые гельминтозы и аденовирусные заболевания (рис. 1).



Рис. 1. Влияние состава воды на здоровье человека

В процессе первичной очистки воды задерживаются до 98 % бактерий. Но среди оставшихся бактерий, а также среди вирусов могут находиться патогенные микроорганизмы, для уничтожения которых нужна специальная обработка воды.

При полной очистке поверхностных вод обеззараживание необходимо всегда, при подготовке подземных вод — в том случае, когда этого требуют микробиологические свойства исходной воды. На практике использование воды в питьевых целях практически всегда, без обеззараживания, невозможно. Обеззараживание является одним из обязательных этапов подготовки питьевой воды на пути подачи ее потребителю.

Для обеззараживания питьевой воды используются химические (реагентные) и физические (безреагентные) методы. Выбирая метод обеззараживания, следует учитывать опасность для здоровья человека самих реагентов, а также веществ, образующихся в процессе обработки воды, например свободных радикалов.

**Цель занятия:** изучить основные методы обеззараживания питьевой воды.

**Задачи занятия:**

1. Изучить классификацию методов обеззараживания.

2. Изучить химические методы обеззараживания воды, их преимущества и недостатки.

3. Изучить свойства хлора и его соединений (эффективность в отношении микроорганизмов, условия проведения реакций, факторы, влияющие на эффективность хлорирования).

4. Научиться строить график зависимости величины и вида остаточного хлора от введенной дозы, а также рассчитывать количество хлора, необходимое для дезинфекции.

5. Изучить физические методы обеззараживания воды, их преимущества и недостатки.

**Требования к исходному уровню знаний.** Для полного усвоения темы студенту необходимо повторить:

– из общей гигиены — требования к питьевой воде, методы улучшения качества питьевой воды;

– медицинской и биологической физики — свойства и характеристики ультрафиолетового, ультразвукового и гамма-излучений.

**Контрольные вопросы из смежных дисциплин:**

1. Физиологическое и гигиеническое значение воды.
2. Состав воды как причина заболеваний инфекционной природы.
3. Диссоциация химических веществ в воде.
4. Виды излучений.

**Контрольные вопросы по теме занятия:**

1. Выбор метода обеззараживания питьевой воды.
2. Факторы, влияющие на эффективность обеззараживания.
3. Методы обеззараживания питьевой воды, их сравнительная характеристика.
4. Расчет оптимального количества дезинфектанта.

## ТЕРМИНОЛОГИЯ

**Вода питьевая (вода питьевого качества)** — вода, которая по органолептическим свойствам, микробиологическому и химическому составу соответствует действующим санитарным нормам и правилам и безопасна для жизни и здоровья человека.

**Хлорпотребность (оптимальная доза хлора)** — количество хлора, необходимое для хлорпоглощаемости воды и бактерицидного действия, а также остаточного хлора.

**Хлорпоглощаемость** — количество хлора, необходимое для окисления имеющихся в воде восстановителей.

**Остаточный хлор** — количество хлора, присутствующее в обеззараженной воде и свидетельствующее о завершении процесса обеззараживания.

**Свободный хлор** — хлор, присутствующий в воде в виде ионов хлорноватистой кислоты, ионов гипохлорита или растворенного элементарного хлора.

**Связанный хлор** — часть общего хлора, присутствующего в воде в виде органических и неорганических хлораминов.

**Оптимальная доза активного хлора** — количество хлора, обеспечивающее достаточный эффект обеззараживания при заданном времени контакта.

**Эффективная доза УФ-излучения** — бактерицидная доза, вызывающая гибель микроорганизмов с заданным уровнем бактерицидной эффективности (90 % и выше).

## ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

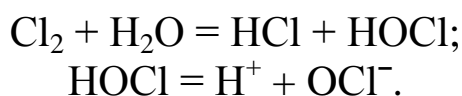
### ХЛОРИРОВАНИЕ

Благодаря высокой эффективности, экономичности технологического процесса, а также эффекту «последствия» хлорирование является наиболее распространенным методом обеззараживания питьевой воды.

**Механизм бактерицидного действия хлора.** Процесс взаимодействия хлора с бактериальной клеткой в воде проходит в две стадии: сначала обеззараживающий агент диффундирует внутрь бактериальной клетки, а затем вступает в реакцию с белками цитоплазмы, ядерным аппаратом клетки, а также с клеточными ферментами.

Препараты хлора воздействуют в основном на вегетативные формы бактерий. Спороцидный эффект проявляется в эксперименте при высоких концентрациях хлора и при длительном контакте, нереальных для технологии водоподготовки. Высокорезистентны к действию хлора вирусы, а также цисты простейших и яйца гельминтов.

Наибольшее распространение среди хлорсодержащих реагентов получил *жидкий хлор*. Он поступает на водопроводные станции в цистернах или баллонах под высоким давлением. При снижении давления жидкий хлор переходит в газообразный, хорошо растворяется в воде. Взаимодействие растворенного хлора с водой происходит следующим образом:



Обеззараживающее действие оказывают гипохлоритный ион  $\text{OCl}^-$  и недиссоциированная хлорноватистая кислота.

Одновременно с обеззараживанием воды протекают реакции окисления органических соединений. В воде образуются хлорорганические соединения, обладающие высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенно-

стью. Последующая очистка воды на активном угле не всегда может удалить их. Кроме того, эти соединения обладают высокой стойкостью и, пройдя через систему водоснабжения и канализации, вызывают загрязнение рек вниз по течению. Присутствие в воде побочных соединений — один из недостатков использования в качестве дезинфектанта газообразного и жидкого хлора.

Хлор является сильнодействующим токсическим веществом. Его хранение, использование и транспортировка требуют соблюдения специальных мер безопасности.

Кроме жидкого хлора, для обеззараживания воды используют ряд его соединений. В централизованных системах питьевого водоснабжения широко используется **диоксид хлора** ( $\text{ClO}_2$ ). Он обладает более высоким бактерицидным и дезодорирующим эффектом, при этом в воде отсутствуют продукты обработки хлорорганических соединений, улучшаются органолептические свойства воды. Однако диоксид хлора дорог и должен производиться на месте по достаточно сложной технологии.

Действие на микроорганизмы  $\text{ClO}_2$  обусловлено не только высоким содержанием высвобождающегося хлора, но и образующимся атомарным кислородом. Именно это сочетание делает диоксид хлора более сильным обеззараживающим агентом.

**Неорганические хлорамины (моноклорамин  $\text{NH}_2\text{Cl}$  и дихлорамин  $\text{NHCl}_2$ )** зачастую используют при обеззараживании воды на водопроводах.

**Гипохлориты кальция и натрия** представляют собой соли хлорноватистой кислоты. Действующим началом гипохлоритов является гипохлоритный ион ( $\text{OCl}$ ).

**Хлорная известь** — комплексное соединение, в котором содержится не более 35 % активного хлора. При хранении, особенно в сырости и на свету, хлорная известь теряет активность.

Применение для обеззараживания воды хлорсодержащих реагентов (хлорной извести, гипохлоритов натрия и кальция) менее опасно в обслуживании и не требует сложных технологических решений. Однако используемые при этом устройства более громоздкие, что связано с необходимостью хранения больших количеств препаратов (в 3–5 раз больше, чем при использовании хлора). Во столько же раз увеличивается объем перевозок. При хранении реагенты частично разлагаются. Остается необходимость в устройстве системы приточно-вытяжной вентиляции и соблюдении мер безопасности для обслуживающего персонала. Растворы хлорсодержащих реагентов могут приводить к коррозии и требуют оборудования трубопроводов из нержавеющей материалов или с антикоррозийным покрытием.

Окислительно-восстановительный потенциал хлорсодержащих препаратов и их бактерицидная активность возрастают в ряду: хлорамин → хлорная известь → хлор (газ) → диоксид хлора.

**Эффективность хлорирования.** На эффективность хлорирования влияет ряд факторов:

- биологические особенности микроорганизмов;
- бактерицидные свойства препаратов хлора;
- состояние водной среды;
- условия реакции.

Скорость обеззараживания возрастает с увеличением концентрации обеззараживающего вещества в воде, повышением ее температуры и переходом обеззараживающего агента в недиссоциированную форму.

С повышением рН воды бактерицидный эффект уменьшается. Это связано со снижением окислительно-восстановительного потенциала, а также с тем, что с повышением рН возрастает диссоциация хлорноватистой кислоты.

Эффективность хлорирования в большой мере зависит от первоначального количества микроорганизмов в исходной воде. Снижается эффективность обеззараживания в присутствии способных к окислению органических веществ, а также взвешенных веществ, обволакивающих бактерии, и ограничивается контакт с ними обеззараживающего агента. Одним из свойств воды, препятствующих обеззараживанию, является хлорпоглощаемость. Из этого следует зависимость эффекта хлорирования от качества очистки воды, т. е. предыдущей стадии водоподготовки.

В условиях эксплуатации водопровода можно влиять на дозу обеззараживающего агента, подбирать оптимальную дозу активного хлора с учетом качества исходной воды, технологической схемы ее обработки, времени года.

Косвенными показателями эффективности являются:

- остаточный хлор (свободный, связанный);
- коли-титр;
- коли-индекс.

Концентрация остаточного хлора нормируется СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (табл.).

*Таблица*

**Предельно допустимые концентрации вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки**

Наименование показателя	Единица измерения	Нормативы (ПДК)	Показатель вредности	Класс опасности
Хлор остаточный: – свободный; – связанный	мг/дм <sup>3</sup>	0,3–0,5	Органолептический	3
		0,8–1,2		

\*В случаях одновременного присутствия в воде остаточного свободного и связанного хлора их ПДК составляет не более 1,2 мг/л.



В указанных диапазонах концентраций остаточный хлор не изменяет органолептические свойства воды и в то же время точно определяется аналитическими методами.

**Содержание остаточного хлора нормируется в воде на выходе с водопроводной станции, после резервуаров чистой воды.**

Следует отметить, что остаточного хлора достаточно для обеззараживания только при соблюдении всех правил технологии обработки воды (время отстаивания, скорость фильтрования и т. д.), а также при достаточном времени контакта (30 мин при обеззараживании свободным хлором и 60 мин — связанным). Нельзя рассчитывать на то, что остаточный хлор сможет предотвратить последствия вторичного загрязнения воды в процессе ее транспортировки по распределительной сети. Низких концентраций остаточного хлора явно недостаточно для окисления сильно загрязненных грунтовых вод города, которые могут поступить в водопроводные трубы при дефектах сети и авариях. Основой сохранения качества питьевой воды в распределительной сети являются техническая исправность сети и соблюдение правил ее эксплуатации (регулярная промывка, дезинфекция после ремонтных работ, содержание смотровых колодцев и т. д.).

**Взаимодействие хлора с компонентами обрабатываемой воды.** В процессе обеззараживания хлор расходуется на окисление органических примесей, содержащихся в воде, поэтому для обеспечения надежного бактерицидного эффекта в обработанной воде поддерживают определенную концентрацию остаточного хлора. Зависимость между дозой введенного и концентрацией остаточного активного хлора выражается кривой, показанной на рис. 2.

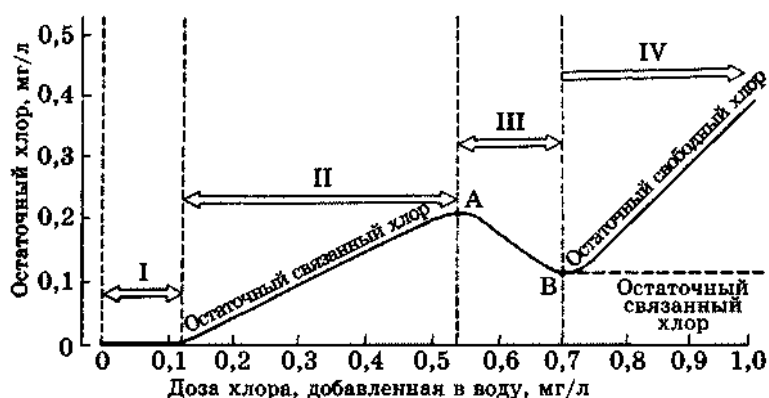


Рис. 2. График зависимости величины и вида остаточного хлора от введенной дозы хлора

Малые дозы хлора полностью связываются органическим веществом воды (участок I), в первую очередь аминами, которые в настоящее время постоянно присутствуют в воде поверхностных источников водоснабжения. С повышением дозы вводимого хлора в воде постепенно возрастает концентрация остаточного хлора, связанного в хлорамины (участок II). Хлорамины

обладают более слабым микробицидным действием, чем хлор, поэтому для достижения требуемого эффекта обеззараживания концентрация остаточного связанного хлора в воде должна быть 0,8–1,2 мг/л. С начала протекания реакций окисления хлораминов количество остаточного связанного хлора в воде уменьшается, несмотря на увеличение дозы введенного хлора (участок III). После окончания реакции окисления хлораминов в воде появляется остаточный свободный хлор, и его количество становится пропорциональным дозе введенного хлора (участок IV). При хлорировании воды, содержащей аммонийные соединения, требуемая доза определяется по прямой за точкой В, которая называется *точкой перелома*. При увеличении дозы хлора после точки перелома вновь начинается рост остаточного хлора, но этот хлор не связан с хлораминами и носит название свободного остаточного хлора.

**Способы хлорирования.** Существует несколько способов хлорирования, выбор которых определяется особенностями состава обрабатываемой воды. Так, в воде поверхностных источников часто присутствуют фенолы, попадающие туда с промышленными сточными водами. При взаимодействии хлора с фенолом образуются весьма стабильные хлорфенольные соединения, придающие воде резкий и неприятный запах, что ограничивает потребление воды в питьевых целях. В таком случае уместно использовать *хлорирование с преаммонизацией*. В обрабатываемую воду вводится аммиак, образующий амины, затем хлор, вступающий в реакцию с аминами уже на первой стадии процесса. Образующиеся хлорамины (связанный активный хлор) не взаимодействуют с фенолами, и хлорфенольного запаха в воде не образуется. Однако нужно учитывать, что связанный (хлораминный) хлор проявляет бактерицидный эффект примерно *в 2 раза медленнее*, чем свободный (гипохлоритный) хлор.

**Суперхлорирование** — хлорирование избыточными дозами хлора. Данный метод используется при особой эпидемической обстановке и при невозможности обеспечить достаточное время контакта воды с хлором. При суперхлорировании также не возникают запахи в воде, поскольку образовавшиеся на раннем этапе взаимодействия хлора с водой хлорорганические соединения в дальнейшем разрушаются избытком хлора. Далее необходимо удалить избыточный остаточный хлор перед подачей воды потребителю, что достигается добавлением в воду гипосульфита, сорбцией хлора на активированном угле или аэрацией.

При обеззараживании воды *послепереломными дозами* (хлорирование с остаточным свободным хлором) дозу хлора подбирают на участке IV (см. рис. 2). Этот способ отличается от суперхлорирования тщательным подбором дозы и поэтому не требует дополнительного дехлорирования. Он обеспечивает высокий и стойкий бактерицидный эффект, предупреждает появление запахов в воде и требует меньшего времени контакта по сравнению со способом хлорирования с преаммонизацией.

При хлорировании *диоксидом хлора* отмечается лучший бактерицидный эффект при той же дозе активного хлора, не образуется новых запахов и даже исчезают запахи (бензина, меркаптана и др.), имевшиеся в исходной воде. Это объясняется тем, что действующим началом при введении диоксида хлора является не хлорноватистая кислота, а молекула диоксида хлора — более сильный окислитель.

Для обеззараживания воды из поверхностных источников с очень высоким бактериальным загрязнением используют *двойное хлорирование*. Основную дозу хлора вводят в воду перед очисткой, после нее выполняют заключительное хлорирование. Такой способ в значительной мере снижает обрастание водопроводных сооружений и коммуникаций водорослями. Однако высокая концентрация образующихся при этом хлорорганических соединений не позволяет считать метод безупречным.

Также в практике обеззараживания отдельно могут встречаться *прехлорирование* и *постхлорирование*.

Таким образом, хлорированию свойственны следующие недостатки:

- сложность транспортировки и хранения жидкого хлора, так как это взрывоопасное и токсичное вещество;
- соблюдение многочисленных требований по технике безопасности;
- продолжительное время контакта для достижения обеззараживающего эффекта;
- общетоксическое действие, оказываемое хлорорганическими соединениями в низких дозах, и способность вызывать эмбриотоксический, мутагенный и канцерогенный эффект.

Тем не менее высокая бактерицидная эффективность и технологическая надежность делают метод хлорирования самым распространенным как в нашей стране, так и за рубежом.

## ОЗОНИРОВАНИЕ

Озон ( $O_3$ ) — газ бледно-фиолетового цвета, обладающий характерным запахом. Это один из сильнейших окислителей, способен окислять все металлы, кроме золота и платиноидов, а также большинство неметаллов. Он оказывает бактерицидное действие на патогенную микрофлору и способен разрушать многие присутствующие в воде источника водоснабжения химические вещества техногенного происхождения. Преимущество озона в том, что он способствует протеканию реакций, которые заставляют молекулы загрязнений собираться в конгломераты, достаточно крупные, чтобы их можно было уловить методом флокуляции или сорбировать на фильтре. Озон реагирует с хлор- и нитроорганическими соединениями с образованием хлоридов и нитратов и, как следствие этого, выводит из воды аммиак. На водопроводных станциях его получают с помощью специальных установок (рис. 3).

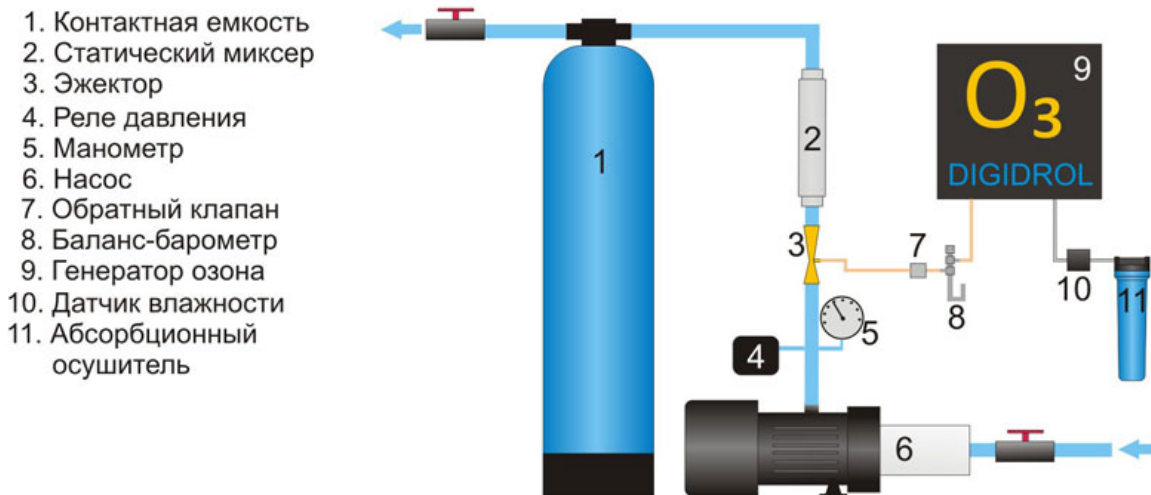


Рис. 3. Устройство установки для озонирования питьевой воды

Главным технологическим узлом установки является озонатор (генератор озона). Он состоит из двух электродов, между которыми находится воздушное разрядное пространство шириной 2–3 мм. Воздух, поступающий в озонаторы, предварительно очищают от пыли, освобождают от влаги и охлаждают. Подготовленная озоновоздушная смесь поступает в эжектор, где контактирует с обрабатываемой водой. Время контакта, необходимое для проявления бактерицидного эффекта, составляет около 10 мин.

Молекула озона легко разлагается на атом и молекулу кислорода. При разложении озона в воде в качестве промежуточных продуктов образуются короткоживущие свободные радикалы  $\text{HO}_2$ ,  $\text{OH}$ . Молекулярный кислород и свободные радикалы, являясь сильными окислителями, обуславливают бактерицидные свойства озона.

Обеззараживающее действие озона на вегетативные формы бактерий в 15–20 раз, а на споровые формы в 300–600 раз более выражено, чем действие хлора. Высокий вирулицидный эффект озона проявляется при реальных для практики водоподготовки концентрациях 0,5–0,8 мг/л и времени контакта 12 мин. Известна высокая эффективность озона относительно цист простейших. Наряду с бактерицидным действием озона в процессе обработки воды происходят обесцвечивание и устранение привкусов и запахов, а также разрушение высокомолекулярных органических соединений.

**Механизм бактерицидного действия** заключается в необратимом нарушении структуры ДНК клетки атомарным кислородом, а также в инактивации бактериальных ферментов.

При обработке воды озоном в ней образуются продукты озонолиза органических веществ в виде альдегидов, кетонов, низкомолекулярных карбоновых кислот, среди которых наиболее актуален формальдегид. Опасность продуктов озонолиза возрастает при комбинации озонирования с последующим хлорированием. В этом случае в воде образуются хлорированные продукты озонолиза с мутагенными и канцерогенными свойствами.

**Косвенным показателем эффективности** обеззараживания воды озоном служит присутствие в воде остаточного количества озона на уровне 0,1–0,3 мг/л после камеры смешения эжектора.

Преимущества озона перед хлором при обеззараживании воды следующие:

- наилучшие органолептические показатели;
- отсутствие высокотоксичных и канцерогенных продуктов в очищенной воде.

Ограничениями для распространения технологии озонирования являются высокая стоимость и необходимость качественного оборудования, большой расход электроэнергии. Кроме того, озонирование не позволяет достичь требуемых микробиологических показателей по причине отсутствия эффекта «последствия».

Существенным недостатком озонирования является токсичность озона. Предельно допустимое содержание этого газа в воздухе производственных помещений 0,1 г/м<sup>3</sup>. К тому же существует опасность взрыва озono-воздушной смеси.

### ОЛИГОДИНАМИЯ

Применение тяжелых металлов (меди, серебра и др.) для обеззараживания питьевой воды основано на их олигодинамическом свойстве, т. е. способности оказывать бактерицидное действие в малых концентрациях.

Серебряная вода может храниться годами. Бактерицидное действие серебра известно давно. Оно связано с нарушением работы ферментных систем бактерий. В качестве бытовых ионаторов могут использоваться серебряные монеты, столовые приборы, украшения, а также в условиях путешествий, экспедиций и чрезвычайных ситуаций возможно использование автономных осеребрителей-ионаторов (рис. 4).



Рис. 4. Обеззараживание питьевой воды серебром

Серебро — тяжелый металл, имеющий высокую степень опасности для здоровья. Он стоит в одном ряду со свинцом, кобальтом, мышьяком и другими веществами. Как и другие тяжелые металлы, серебро способно накапливаться в организме и вызывать заболевания, например аргироз (отравление серебром).

**Механизм бактерицидного действия серебра** заключается в нарушении работы ферментной системы клетки. Для бактерицидного действия серебра требуются достаточно большие концентрации — около 0,015 мг/л. При малых концентрациях ( $10^{-4}$ – $10^{-6}$  мг/л) оно оказывает только бактериостатическое действие, останавливает рост бактерий, не убивая их. Споробразующие разновидности микроорганизмов к серебру практически нечувствительны.

Все эти свойства серебра, а также стоимость ограничивают его применение. Такой способ обеззараживания может быть уместен только в целях сохранения исходно чистой воды для длительного хранения, например на космических кораблях или при розливе бутилированной питьевой воды.

Для обеззараживания питьевой воды также используют медь. Антимикробные спектры серебра и меди совпадают, но действующие концентрации меди выше, и бактерицидный эффект достигается медленнее.

В начале XX в. для обеззараживания воды широко применялись соединения брома и йода, обладающие более выраженными бактерицидными свойствами, чем хлор, но требующие и более сложной технологии. В современной практике для обеззараживания питьевой воды йодированием предлагается использовать специальные иониты, насыщенные йодом. При пропускании через них воды йод постепенно вымывается из ионита, обеспечивая необходимую дозу в воде. Для обеззараживания индивидуальных или небольших групповых запасов питьевой воды в полевых условиях используют препараты йода, которые в отличие от препаратов хлора действуют быстрее и не ухудшают органолептические свойства воды. Бактерицидный эффект обеспечивается при концентрации йода 0,3–1 мг/л, вирулицидный — 0,5–2 мг/л при экспозиции 20–30 мин.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

### **КИПЯЧЕНИЕ**

Наиболее распространенным и надежным физическим методом обеззараживания воды (в частности, в домашних условиях) является кипячение. При кипячении уничтожается большинство бактерий, вирусов, бактериофагов, антибиотиков и других биологических объектов, которые часто содержатся в открытых водоисточниках, а как следствие, и в системах центрального водоснабжения.

В процессе кипячения разрушаются хлор и хлорсодержащие соединения, выпадают в осадок коллоидные частицы примесей и соли, образуется накипь, вода умягчается, в ней уменьшается содержание легколетучих компонентов. Вкусовые качества воды при кипячении практически не меняются. Для надежной дезинфекции рекомендуется кипятить воду 15–20 мин. При кратковременном воздействии некоторые микроорганизмы, их споры, яйца гельминтов могут сохранить жизнеспособность. После нескольких часов после кипячения в воде начинает активно размножаться бактериальная микрофлора и вода становится бактериологически опасной в силу попавших из воздуха микроорганизмов. Применение кипячения в промышленных масштабах не представляется возможным ввиду высокой стоимости метода.

### ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОМ

Ультрафиолетовым излучением называется электромагнитное излучение оптического диапазона с длиной волны 10–400 нм. При обеззараживании воды в технологии водоподготовки используется биологически активная область спектра УФ-излучения с длиной волны **от 205 до 315 нм**, называемая бактерицидным излучением с максимумом бактерицидного действия в области **250–270 нм** (рис. 5).

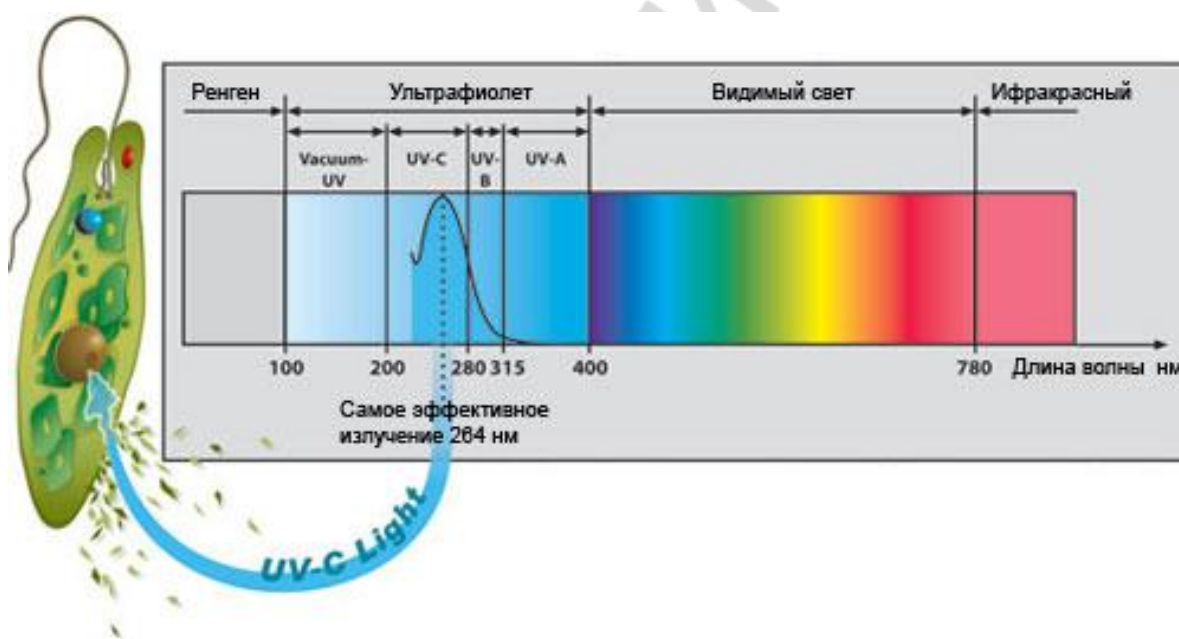


Рис. 5. Ультрафиолет в спектре электромагнитного излучения

Обеззараживание воды УФ-излучением основано на необратимых повреждениях молекул ДНК и РНК микроорганизмов, что приводит к гибели клетки (рис. 6).

Процесс обеззараживания УФ-излучением не приводит к изменениям органолептических свойств и состава воды, образованию токсичных побоч-

ных продуктов реакции. При УФ-обеззараживании не существует проблемы передозировки, но отсутствует эффект «последствия», так как вода не приобретает бактерицидных свойств, предохраняющих ее от повторного заражения.

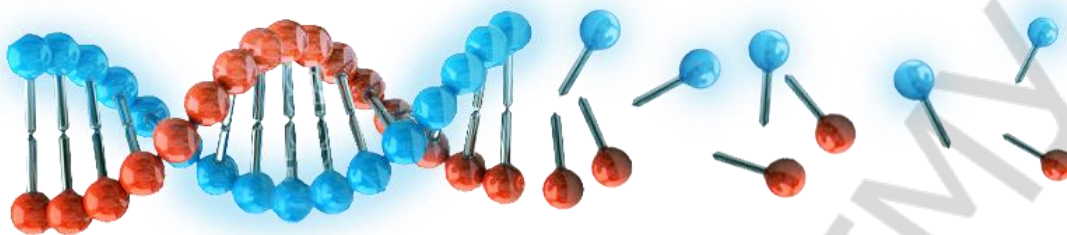


Рис. 6. Повреждение ДНК УФ-излучением

УФ-обеззараживание не требует длительного контакта УФ-лучей с водой и обеспечивается за время прохождения воды через камеру обеззараживания установок. Эксплуатация бактерицидных установок практически автоматизирована и требует контроля 1 раз в квартал, а также смены ламп, отработавших свой ресурс, 2–3 раза в год и чистки поверхности кварцевого чехла по мере загрязнения.

Бактерицидная эффективность зависит от вида микроорганизма, возрастает с увеличением интенсивности излучения ( $\text{Вт/м}^2$ ), экспозиции облучения (секунды) и определяется дозой облучения. Произведение интенсивности излучения на время называется **дозой облучения ( $\text{Дж/м}^2$ )** и является мерой бактерицидной энергии, переданной микроорганизмам. Бактерицидная эффективность характеризуется отношением числа погибших микроорганизмов к их начальному числу (в процентах).

Факторы, влияющие на процесс обеззараживания:

- мощность источников УФ-излучения и рациональное их размещение в УФ-установках обеззараживания воды;
- качество воды, поступившей для обеззараживания (цветность, мутность и т. д.);
- устойчивость микроорганизмов к УФ-излучению;
- снижение интенсивности потока УФ-излучения с течением времени эксплуатации ламп, при загрязнении кварцевых чехлов;
- время обработки воды.

Источниками УФ-излучения для обеззараживания являются излучающие в диапазоне 205–315 нм ртутные газоразрядные лампы низкого и высокого давления, ксеноновые и амальгамные лампы. Их объединяют под общим названием **бактерицидные лампы**. На качество их работы влияет ряд факторов. Так, снижение температуры окружающего воздуха затрудняет запуск ламп, увеличивает распыление материалов электродов, что сокращает срок службы. Параметры работы ламп зависят от колебаний напряжения сети.



Конструктивно источники УФ-излучения делятся на лампы с отражателями и лампы с защитными кварцевыми чехлами (рис. 7).

#### УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ

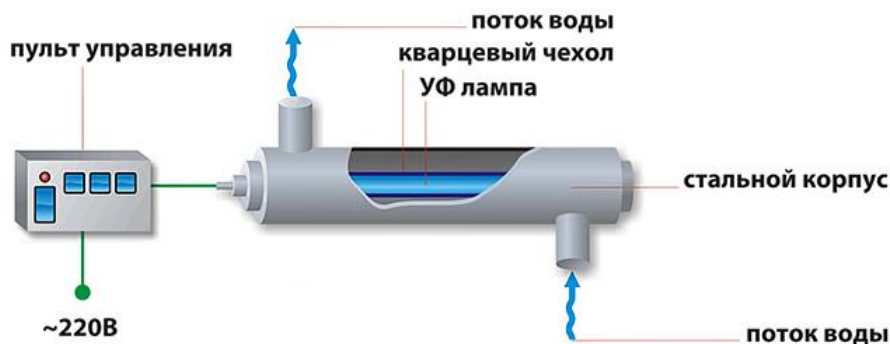


Рис. 7. Устройство УФ-лампы с кварцевым чехлом

УФ-лампы с отражателями используются в установках с непогруженными источниками излучения. Они располагаются над свободно текущей водой, а непосредственный контакт ламп с водой отсутствует.

В установках с погруженными источниками излучения используются УФ-лампы с защитными чехлами, которые располагаются в воде. Чехлы изготавливаются из кварцевого стекла и предназначены для защиты ламп и стабилизации их температурного режима. Для обеззараживания питьевой воды более рационально применять установки с погруженными источниками вследствие более высокой эффективности использования УФ-излучения ламп, отсутствия выхода УФ-лучей в воздух рабочей зоны.

Проникновение УФ-лучей в воду сопровождается их поглощением как самой водой, так и веществами, находящимися в воде в коллоидном или взвешенном состоянии. УФ-обеззараживание может быть использовано для обработки воды с цветностью до 500, мутностью до 30 мг/л и содержанием железа до 5 мг/л.

Влияние минерального состава воды на степень бактерицидного облучения проявляется и в образовании осадка на поверхности кварцевых чехлов погруженных УФ-ламп. Совместное применение УФ-излучения и хлора повышает санитарную надежность обеззараживания в отношении вирусов.

УФ-излучение обладает более выраженным бактерицидным действием в отношении вирусов и вегетативных форм бактерий; менее чувствительны грибы, простейшие, споры бактерий.

Водные микроорганизмы также имеют различную устойчивость к действию УФ-лучей. Исследования показали, что для получения равного бактерицидного эффекта при обеззараживании воды, содержащей споровые микроорганизмы, бактерицидной энергии требуется в 2–3 раза больше, чем для вегетативных форм. УФ-лучи в дозах, обеспечивающих бактерицидный эффект, не гарантируют уничтожения возбудителей паразитарных болезней.

Эффективность обеззараживания УФ-лучами не зависит от pH и температуры воды. Точный расчет технических параметров бактерицидных установок, учитывающий все основные факторы, является неременным условием успешного обеззараживания питьевой воды (рис. 8).



Рис. 8. Бутилированная питьевая вода

В технологии получения питьевой воды УФ-лучи можно использовать при предварительном и заключительном обеззараживании воды. На предварительном этапе УФ-лучи используются как альтернатива первичному хлорированию. Это снижает вероятность образования в воде хлорорганических соединений, уменьшает микробное загрязнение воды и поддерживает удовлетворительное санитарное состояние очистных сооружений.

Преимущества использования УФ-лучей: широкий спектр антимикробного действия, отсутствие опасности передозировки, сохранение органолептических свойств воды, минимальное время контакта (секунды).

Недостатками метода являются зависимость бактерицидного эффекта от мутности и цветности обрабатываемой воды и отсутствие оперативного контроля эффективности. Этот метод не дает эффекта «последствия», что делает возможным вторичный рост бактерий в обработанной воде.

### ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ

Под действием гамма-излучения в процессе радиолитического распада воды образуются свободные радикалы, которые оказывают губительное действие на бактериальную клетку. При относительно невысоких дозах облучения (10 000–15 000 Р) 90 % бактерий погибает. Дозы порядка 25 000–50 000 Р вызывают гибель практически всех бактериальных форм.

В установках для обеззараживания воды можно использовать отработанные тепловыделяющие элементы атомных реакторов. Однако высокие требования к технике безопасности при эксплуатации установки, отсутствие эффекта «последствия» и способа оперативного контроля ограничивают использование этого метода в практике централизованного питьевого водоснабжения.

### **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОМ**

Впервые этот метод был предложен в 1928 г. Механизм бактерицидного действия ультразвука до конца неясен. По этому поводу высказываются следующие предположения:

- ультразвук вызывает образование пустот в сильно завихренном пространстве, что ведет к разрыву клеточной стенки бактерии;
- ультразвук вызывает выделение растворенного в жидкости газа, а пузырьки газа, находящиеся в бактериальной клетке, вызывают ее разрыв.

Преимуществом использования ультразвука перед многими другими методами обеззараживания сточных вод служит его нечувствительность к таким факторам, как высокая мутность и цветность воды, характер и количество микроорганизмов, а также наличие в воде растворенных веществ. Единственный фактор, который влияет на эффективность обеззараживания — это интенсивность ультразвуковых колебаний. **Ультразвук** — это звуковые колебания, частота которых находится значительно выше уровня слышимости. Высокая бактерицидная эффективность достигается при частоте ультразвука от 20 000 до 1 000 000 Гц. Очистка воды ультразвуком считается одним из новейших методов. Ультразвуковое воздействие на микроорганизмы нечасто применяется в фильтрах обеззараживания питьевой воды, однако, его высокая эффективность позволяет говорить о перспективности этого метода, несмотря на его дороговизну.

К преимуществам ультразвуковой обработки воды можно отнести широкий спектр антимикробного действия, отсутствие влияния на органолептические свойства воды, независимость бактерицидного эффекта от физико-химических свойств воды, достаточную техническую надежность. Технологические основы использования ультразвука в водоподготовке не разработаны. Сдерживающими факторами остаются сложность конструирования установок большой производительности и высокая стоимость.

### **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ**

Еще одним перспективным способом обеззараживания питьевой воды является ее обработка импульсными электрическими разрядами (ИЭР). Электрогидравлический эффект возникает в результате выделения большого количества энергии между электродами, помещенными в обрабатываемую воду. Высоковольтный (20–100 кВ) или низковольтный (1–10 кВ) разряд происходит

за доли секунды и сопровождается мощными ударными волнами, явлениями кавитации, ультрафиолетовыми и ультразвуковыми импульсами, возникновением магнитных и электрических полей. Результатом всех этих явлений является уничтожение в воде практически всех патогенных микроорганизмов.

Вода, обработанная ИЭР, приобретает бактерицидные свойства, которые сохраняются до 4 месяцев.

Основным преимуществом данного метода является экологическая чистота.

Однако этот способ имеет ряд недостатков, в частности, относительно высокую энергоемкость ( $0,2-1$  кВт/ч/м<sup>3</sup>) и, как следствие, дороговизну.

Эффективность обеззараживания ИЭР не зависит от вида и концентрации микроорганизмов, мало зависит от состава обрабатываемой воды и определяется техническими параметрами процесса (величиной рабочего напряжения, суммарной плотностью энергии обработки и т. д.).

Механизм бактерицидного действия ИЭР определяется комбинированным воздействием импульсного УФ-излучения и свободных радикалов, образующихся в зоне разряда, на ферментные системы клетки. Обеззараживание питьевой воды методом ИЭР используется в системах автономного жизнеобеспечения.

## КОМПЛЕКСНОЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ

Зачастую наиболее эффективным оказывается комплексное применение реагентных и безреагентных методов обеззараживания воды. Например, сочетание УФ-обеззараживания или озонирования с последующим хлорированием обеспечивает высокую степень очистки и эффект «последствия». При этом резко сокращается образование токсичных хлорорганических веществ.

Постоянное совершенствование методов и средств обеззараживания вызвано двумя факторами: развитием у микроорганизмов резистентности не только к антибиотикам, но и к дезинфицирующим средствам, а также несовершенством используемых реагентов. Следует учитывать и то, что возможно и вторичное загрязнение уже подготовленной воды при ее транспортировке по трубам распределительной сети. Постоянное совершенствование дезинфицирующих средств ведет к созданию новых, эффективных и безопасных соединений. Уже сейчас разрабатываются новые дезинфицирующие реагенты на основе таких традиционных групп химических соединений, как спирты, альдегиды, фенолы, перекиси, ПАВ и хлорсодержащие вещества.

Опыт использования передовых технологий и оборудования доказывает, что качество воды (практически независимо от исходных ее характеристик) начинает соответствовать строгим нормативным требованиям. Это позволяет не только эффективно использовать естественные источники, но и успешно применять схемы рециркуляции.

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить требования к качеству питьевой воды в соответствии с СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

2. Изучить Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к источникам нецентрализованного питьевого водоснабжения населения». Утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 105 от 02.08.2014 г.

3. Изучить СанПиН «Санитарно-эпидемиологические требования к системам централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения». Утверждены постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 69 от 16.09.2014 г.

4. Изучить СанПиН № 123 от 15.12.2015 г. «Требования к питьевой воде, расфасованной в емкости».

5. Решить ситуационные задачи.

## САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

### СИТУАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

**Задача 1.** Определить расход хлорной извести для обеззараживания шахтного колодца с учетом хлорпотребности при следующих исходных данных:

- форма колодца круглая;
- диаметр бетонных колец 2 м;
- уровень воды в колодце на высоте 3 м;
- содержание активного хлора в хлорной извести 30 %;
- хлорпоглощаемость 30 мг/дм<sup>3</sup>.

**Задача 2.** Определить расход хлорной извести для обеззараживания шахтного колодца с учетом хлорпотребности при следующих исходных данных:

- форма колодца круглая;
- радиус бетонных колец 1 м;
- уровень воды в колодце на высоте 4 м;
- содержание активного хлора в хлорной извести 25 %;
- хлорпоглощаемость 40 мг/дм<sup>3</sup>.

**Задача 3.** Определить расход хлорной извести для обеззараживания шахтного колодца с учетом хлорпотребности при следующих исходных данных:

- форма колодца круглая;
- диаметр бетонных колец 2 м;

- уровень воды в колодце на высоте 5 м;
- содержание активного хлора в хлорной извести 35 %;
- хлорпоглощаемость 30 мг/дм<sup>3</sup>;

**Задача 4.** Определить расход хлорной извести для обеззараживания шахтного колодца с учетом хлорпотребности при следующих исходных данных:

- форма колодца круглая;
- диаметр бетонных колец 2 м;
- уровень воды в колодце на высоте 2 м;
- содержание активного хлора в хлорной извести 25 %;
- хлорпоглощаемость 20 мг/дм<sup>3</sup>;

**Задача 5.** Рассчитать необходимое количество хлорной извести с содержанием активного хлора 35 % для дезинфекции трубопровода длиной 2 500 мп, диаметром 150 мм, если для дезинфекции рекомендован раствор с концентрацией активного хлора 40 мг/л.

**Задача 6.** Рассчитать необходимое количество хлорной извести с содержанием активного хлора 40 % для дезинфекции трубопровода длиной 3 000 мп, диаметром 200 мм, если для дезинфекции рекомендован раствор с концентрацией активного хлора 50 мг/л.

**Задача 7.** Рассчитать необходимое количество хлорной извести с содержанием активного хлора 40 % для дезинфекции трубопровода длиной 5 000 мп, диаметром 250 мм, если для дезинфекции рекомендован раствор с концентрацией активного хлора 70 мг/л.

**Задача 8.** Анализ воды из колодца п. Лесное следующий:

- мутность — 3,2 ЕМФ;
- цветность — бесцветная;
- запах — без постороннего;
- привкус — не определялся;
- водородный показатель — 7,4 рН;
- окисляемость перманганатная — 18 мг/л;
- хлориды — 466 мг/л;
- сульфаты — 458 мг/л;
- жесткость общая — 26,7 мг-экв/л;
- остаточный хлор — 0,1 мг/л;
- микробное число (счет колоний) — не подлежит подсчету.

Выше колодца на расстоянии 100 м в соседнем дворе расположена поглощающая помойная яма.

Решить задачу и дать развернутое гигиеническое заключение о качестве воды и ее пригодности для питья и приготовления пищи.

**Задача 9.** Анализ воды из внутренней водопроводной сети (срок эксплуатации сети — 30 лет) следующий:

- цветность — 15 градусов;

- мутность — 3,5 ЕМФ;
- запах и вкус — 2 балла;
- водородный показатель — 6,2 рН;
- нитраты — 15 мг/л;
- железо — 4 мг/л;
- хлориды — 365 мг/л;
- окисляемость перманганатная — 5,6 мг/л;
- свободный остаточный хлор — 0,1 мг/л;
- связанный остаточный хлор — 0,4 мг/л;
- общее микробное число — 170 образующих колоний бактерий в 1 см<sup>3</sup>;
- термотолерантные колиформные бактерии — 4 образующие колонии бактерий в 1 см<sup>3</sup>;
- цисты лямблий — 1 циста в 50 л.

Решить задачу и дать развернутое гигиеническое заключение о качестве воды и ее пригодности для питья и приготовления пищи.

**Задача 10.** Анализ воды из внутренней водопроводной сети следующий:

- цветность — 10 градусов;
- мутность — 2,7 ЕМФ;
- запах и вкус — 4 балла;
- водородный показатель — 9 рН;
- нитраты — 40 мг/л;
- железо — 1 мг/л;
- хлориды — 220 мг/л;
- сульфаты — 75 мг/л;
- окисляемость перманганатная — 4 мг/л;
- общая жесткость — 6 мг-экв/л;
- свободный остаточный хлор — 0,4 мг/л;
- свинец — 0,2 мг/л;
- общее микробное число — 60 образующих колоний бактерий в 1 см<sup>3</sup>;
- термотолерантные колиформные бактерии — 2 образующие колонии бактерий в 1 см<sup>3</sup>;
- споры сульфитредуцирующих клостридий — 3 споры в 20 см<sup>3</sup>.

Решить задачу и дать развернутое гигиеническое заключение о качестве воды и ее пригодности для питья и приготовления пищи.

**Задача 11.** Анализ воды из внутренней водопроводной сети следующий:

- цветность — 45 градусов;
- мутность — 6 ЕМФ;
- запах и привкус — 5 баллов;
- водородный показатель — 3 рН;
- нитраты — 64 мг/л;
- железо (общее) — 0,3 мг/л;
- хлориды — 270 мг/л;

- сульфаты — 286 мг/л;
- окисляемость перманганатная — 7 мг/л;
- общая жесткость — 7 мг-экв/л;
- связанный остаточный хлор — 1 мг/л;
- свободный остаточный хлор — 0,5 мг/л;
- общее микробное число — 90 образующих колоний бактерий в 1 см<sup>3</sup>;
- термотолерантные колиформные бактерии — 3 образующие колонии бактерий в 1 см<sup>3</sup>;
- цисты лямблий — 1 циста в 50 л.

В воде отмечается наличие взвешенных веществ и песка.

Решить задачу и дать развернутое гигиеническое заключение о качестве воды и ее пригодности для питья и приготовления пищи.

**Задача 12.** Анализ бутилированной негазированной воды следующий:

- цветность — 4 градуса;
- мутность — 1 ЕМФ;
- запах и привкус — 0 баллов;
- окисляемость перманганатная — 2 мг/л;
- нитриты — 0,04 мг/л;
- серебро — 0,0025 мг/л;
- железо — 0,2 мг/л;
- связанный остаточный хлор — 0,1 мг/л;
- свободный остаточный хлор — 0,05 мг/л;
- общее микробное число при температуре 37 °С за 24 часа — 10.

Решить задачу и дать развернутое гигиеническое заключение о качестве воды и ее пригодности для питья и приготовления пищи.

**Задача 13.** Анализ бутилированной газированной воды следующий:

- цветность — 6 градусов;
- мутность — 7 ЕМФ;
- запах и привкус — 2 балла;
- водородный показатель — 4,5 рН;
- окисляемость перманганатная — 4 мг/л;
- свинец — 0,02 мг/л;
- серебро — 0,0035 мг/л;
- железо — 0,37 мг/л;
- связанный остаточный хлор — 0,07 мг/л;
- свободный остаточный хлор — 0,05 мг/л;
- общее микробное число при температуре 37 °С за 24 часа — 21.

В емкости с водой обнаружена этикетка.

Решить задачу и дать развернутое гигиеническое заключение о качестве воды и ее пригодности для питья и приготовления пищи.



## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. *Коммунальная гигиена* : учеб. / под ред. В. Т. Мазаева. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2005. С. 304.

### *Дополнительная*

2. *Коммунальная гигиена* : учеб. / под ред. Е. И. Гончарука. Киев : Здоровье, 2006. С. 792.

3. *Руководство по гигиене питьевой воды и питьевого водоснабжения* : учеб. / под ред. В. Т. Мазаева, А. П. Ильницкого, Т. Г. Шлепнина. М. : Медицинское информационное агентство, 2008. С. 320.

4. *СанПин 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.*

5. *Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы : гигиенические требования к источникам нецентрализованного питьевого водоснабжения населения* : утв. постановлением Министерства здравоохранения Республик Беларусь 2 августа 2010 г. № 105.

6. *О воде* [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.ovode.net>.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Мотивационная характеристика темы.....	4
Терминология.....	5
Химические методы обеззараживания питьевой воды.....	6
Хлорирование.....	6
Озонирование.....	11
Олигодинамия.....	13
Физические методы обеззараживания питьевой воды.....	14
Кипячение.....	14
Обеззараживание ультрафиолетом.....	15
Обеззараживание гамма-излучением.....	18
Обеззараживание ультразвуком.....	19
Обеззараживание импульсным электрическим разрядом.....	19
Комплексное обеззараживание.....	20
Задания для самостоятельной работы.....	21
Самоконтроль усвоения темы.....	21
Ситуационные задачи.....	21
Литература.....	25

Учебное издание

**Журавлевич** Наталья Евгеньевна

# **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

Методические рекомендации

Ответственный за выпуск И. П. Семенов  
Корректор А. В. Лесив  
Компьютерная верстка А. В. Янушкевич

Подписано в печать 21.03.17. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Снегурочка».

Ризография. Гарнитура «Times».

Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,2. Тираж 95 экз. Заказ 170.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный медицинский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/187 от 18.02.2014.

Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.