Мазаев В.Т., Королев А.А., Шлепнина Т.Г.

Коммунальная гигиена

Год издания 2005

Коммунальная гигиена, ч. 1

Библиография Коммунальная гигиена, ч. 1 [Электронный ресурс] / Мазаев В.Т., Королев А.А., Шлепнина Т.Г. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2005. - http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5970400947.html

Авторы Мазаев В.Т., Королев А.А., Шлепнина Т.Г.

Издательство ГЭОТАР-Медиа

Год издания 2005

Прототип Электронное издание на основе: Коммунальная гигиена, ч. 1 / Под ред. В.Т. Мазаева. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2005. - 304 с. - ISBN 5-9704-0094-7.

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ 5
ВВЕДЕНИЕ 6
РАЗДЕЛ 1. ГИГИЕНА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 14
ГЛАВА 1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ И ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ 14
1.2. Гигиенические функции питьевой воды 16
ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ И УСЛОВИЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ 19
2.1. Гигиенический критерий качества питьевой воды 19
2.2. Роль воды в распространении инфекционных болезней и инвазий 20
ГЛАВА 3 ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ 27
3.1. Гигиенические принципы нормирования качества питьевой воды 27
3.2. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения 28
3.3. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованных систем питьевого водоснабжения 32
3.4. Нормирование качества питьевой воды за рубежом 34
ГЛАВА 4. ИСТОЧНИКИ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 36
4.1. Водные объекты, которые могут быть использованы в качестве источников питьевого водоснабжения. Сравнительная гигиеническая характеристика 36
4.2. Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения 39
4.3. Выбор источника питьевого водоснабжения как профессиональная задача санитарного врача 44
ГЛАВА 5   ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ И МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИТРАНСПОРТИРОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ 48
5.2. Гигиенические задачи подготовки питьевой воды 50
5.3. Принципиальные основы технологии подготовки питьевой воды 50
5.4. Специальные методы подготовки питьевой воды 58
5.5. Сооружения заводского изготовления для подготовки малых объемов питьевой воды 60
5.6. Барьерная роль очистных сооружений питьевого водопровода 61
5.7. Централизованное горячее водоснабжение 61
5.8. Гигиенические вопросы хранения и транспортировки воды в централизованных 62
ГЛАВА 6 ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ 65
6.1. Гигиенические задачи обеззараживания питьевой воды 65
6.2. Химические (реагентные) методы 65
6.3. Физические (безреагентные) методы 71
6.4. Консервация питьевой воды 75
ГЛАВА 7. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР ЗА ПИТЬЕВЫМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ 76
РАЗДЕЛ 2. САНИТАРНАЯ ОХРАНА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ 81
ГЛАВА 8. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ 81
8.1. Виды водных объектов 81
8.2. История охраны водных объектов от загрязнения 83
8.3. Современные правовые основы охраны водных объектов 85
ГЛАВА 9. ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ 87
9.1. Основные источники загрязнения водных объектов 87
9.2. Промышленные сточные воды 87
9.3. Городские сточные воды 92
9.4. Сельскохозяйственное производство 93
9.5. Водный транспорт 94
9.6. Последствия загрязнения водных объектов 95
9.7. Гигиенический критерий загрязненности водного объекта 96

ГЛАВА 10. ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЗДОРОВЬЕ И УСЛОВИЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ И КРИТЕРИИ ЕГО ОЦЕНКИ 97
10.1. Направления неблагоприятного влияния водного объекта на здоровье и условия жизни населения 97
10.2. Методы и критерии оценки влияния водных объектов на здоровье и условия жизни населения 100
10.3. Оценка риска неблагоприятного воздействия водного объекта на здоровье населения 108
ГЛАВА 11 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ 110
11.1. Система мероприятий 110
11.2. Технологические мероприятия 111
11.3. Санитарно-технические мероприятия 112
11.4. Вспомогательные и планировочные мероприятия 129
11.5. Условия спуска сточных вод в поверхностные водные объекты 130
ГЛАВА 12. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ 132
РАЗДЕЛ 3. ГИГИЕНА ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ 137
ГЛАВА 13. ПОЧВА НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ И ИСТОЧНИКИ ЕЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ 137
13.1. Определение понятий «почва» и «почва населенных мест» 137
13.2. Факторы почвообразования 137
13.3. Экологические функции почвы 140
13.4. Гигиенический критерий загрязнения почвы населенных мест 141
13.5. Источники загрязнения почвы 141
ГЛАВА 14 ВЛИЯНИЕ ПОЧВЫ НА ЗДОРОВЬЕ И УСЛОВИЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ 147
14.1. Особенности и пути влияния почвы на здоровье и условия жизни населения 147
ГЛАВА 15 МЕТОДЫ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ РЕГЛАМЕНТАЦИИ СОСТОЯНИЯ И СОСТАВА ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ 154
15.1. Гигиеническое нормирование содержания экзогенных химических веществ в почве 154
15.2. Санитарные показатели почвы 158
ГЛАВА 16. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ 159
16.1. Определение понятия «санитарная охрана почвы населенных мест» 159
16.2. Мероприятия по санитарной охране почвы сельскохозяйственных угодий 159
16.3. Мероприятия по санитарной охране почвы населенных мест и рекреационных зон 160
16.4. Методы обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов 162
16.5. Гигиенические аспекты утилизации и обезвреживания твердых промышленных отходов 168
16.6. Мероприятия по рекультивации техногенно нарушенных земель 169
ГЛАВА 17. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР ЗА САНИТАРНЫМ СОСТОЯНИЕМ ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ 170
ПРИЛОЖЕНИЕ   САНИТАРНО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ 173

ПРЕДИСЛОВИЕ

Коммунальная гигиена - одна из ведущих специальных дисциплин учебного плана медико-профилактического факультета и наиболее объемный и разносторонний раздел деятельности санитарно-эпидемиологической службы. Коммунальная гигиена состоит в органической связи с масштабными проблемами градостроительства, благоустройства населенных мест, развитием систем жизнеобеспечения от столичного мегаполиса до объектов автономного существования человеческого коллектива (космические корабли, подводные корабли и аппараты и пр.). В связи с этим развитие коммунальной гигиены во многом определяется общественно-экономическими отношениями в стране, государственным устройством, соотношением форм собственности.

Вышедший в 1986 г. учебник по коммунальной гигиене* создавался в условиях социалистического государства с присущим ему политическим устройством общества, законодательством и имущественными отношениями и не может служить учебным пособием в изменившихся условиях.

Научные проблемы коммунальной гигиены получили дальнейшее развитие. Углубились представления о причинно-следственных связях в системе «Человек-среда обитания», изменились методы их выявления. Установлены новые закономерности токсического действия, механизмы и уровни вредного воздействия физических факторов среды обитания.

За минувшие почти два десятилетия в значительной мере изменились принципы и задачи деятельности государственной санитарно-эпидемиологической службы, ее законодательно-правовая основа. С 1996 г. действует вторая редакция Закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения; изменились многие подзаконные нормативные правовые акты: санитарные правила и нормы, некоторые гигиенические нормативы. Указанные обстоятельства потребовали создания нового учебника по коммунальной гигиене.

* Коммунальная гигиена. Под ред. К.И. Акулова, К.А. Буштуевой. - М.,1986.

Учитывая широту проблем, которые охватывает современная коммунальная гигиена, авторский коллектив счел целесообразным разделить учебник на две части. В первую часть вошли разделы дисциплины, освещающие воздействие на человека факторов природной среды: гигиена воды и питьевого водоснабжения, санитарная охрана водных объектов, гигиена почвы. Во второй части - разделы, посвященные воздействию на человека факторов искусственной среды: гигиена атмосферного воздуха поселений, гигиена жилища, гигиена планировки поселений.

Задача коммунальной гигиены как учебной дисциплины додипломного этапа непрерывного медицинского образования - преподать основу знаний о воздействии факторов среды обитания человека в условиях поселений, а также научить решению частных профессиональных задач в этой области. Освоение метода оценки риска воздействия и методики ведения социально-гигиенического мониторинга относится на постдипломный уровень образования в рамках новой специализации «социально-гигиенический мониторинг», утвержденной в 2003 году.

При изложении материала авторы учитывали современную тенденцию к фундаментализации высшего медицинского образования, а также необходимость дальнейшего развития физиолого-гигиенического направления профилактической медицины.

Учебник написан в рамках Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальности 040300 «Медико-профилактическое дело», и его содержание соответствует программе по коммунальной гигиене, утвержденной в установленном порядке.

Авторы будут глубоко признательны всем читателям, которые сочтут возможным прислать свои отзывы и критические замечания.

ВВЕДЕНИЕ
ГИГИЕНА КАК НАУКА И УЧЕБНАЯ ДИСЦИПЛИНА. ФОРМИРОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОММУНАЛЬНОЙ ГИГИЕНЫ

Коммунальная гигиена (син.: гигиена населенных мест, гигиена поселений) выделилась из гигиены - профилактического раздела медицинской науки - в первой четверти XX века. Выделение коммунальной гигиены как учебной дисциплины в учебном плане санитарно-гигиенического факультета медицинских вузов было обусловлено индустриализацией страны. Возникновение и быстрое развитие промышленных мощностей, появление гигантов индустрии в добывающих отраслях и отраслях первичной переработки (каменноугольная, металлургическая, нефтеперерабатывающая, целлюлозно-бумажная промышленность) влекли за собой образование громадных объемов промышленных отходов. Поступая в больших количествах в атмосферный воздух, поверхностные водные объекты, накапливаясь в виде отвалов пустой породы, «хвостов» рудообогащения на почве, промышленные отходы значительно изменяли свойства и состав среды обитания человека. Это зачастую сказывалось на *состоянии здоровья* не только людей, непосредственно связанных с производством, но и всего населения, проживающего в зоне влияния индустриальных промышленных комплексов.

Вместе с тем процесс урбанизации как прямое следствие индустриализации коренным образом изменял *условия жизни* населения. Многоэтажное жилищное строительство, повышение плотности населения и резкое увеличение размеров промышленных городов требовали централизованного питьевого водоснабжения и централизованного водоотведения (канализации), отопления, системы городского транспорта, упорядочения планировки и застройки населенных мест, новых подходов к жилищному строительству.

Накапливающиеся (концентрирующиеся) твердые и жидкие бытовые отходы не могли, как ранее, утилизироваться через обычные природные циклы круговорота веществ. Потребовались инженерные технологии их обработки и обезвреживания с целью уменьшения неблагоприятного влияния на среду обитания человека и косвенно на здоровье и условия жизни населения.

Принятие обоснованных управленческих решений по сложным проблемам индустриализации и урбанизации стало невозможным без гигиенической оценки новых факторов среды обитания человека.

Во второй четверти XX века в нашей стране возникла насущная социальная и политическая проблема - освоение новых территорий для промышленного и гражданского строительства в регионах с необычными, зачастую экстремальными природно-климатическими условиями. Это поставило задачу изучения физиологических процессов адаптации человека к таким условиям и разработки санитарных мероприятий, способствующих адаптации.

Таким образом, всего за 1-2 десятилетия появились факторы, новые как для среды обитания, так и для человека, способные неблагоприятно повлиять на здоровье человека и условия его жизни. Ответом на потребности общества в оценке *характера и степени* этих новых и неблагоприятных воздействий стало выделение из общей гигиены нового раздела - коммунальной гигиены, или гигиены населенных мест. Уже к 40-м годам XX века множество новых научных фактов позволило нарождающемуся разделу гигиены перейти от описания к нормированию. В это время были разработаны методологические основы и опубликованы методические схемы гигиенического нормирования химического фактора в водной среде (проф. С. Н. Черкинский, 1945) и в атмосферном воздухе (проф. В.А.Рязанов, 1949).

«Наука начинается с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры», - говорил в свое время Д.И. Менделеев. Для коммунальной гигиены такой мерой стали гигиенические нормативы - *предельно допустимые концентрации (предельно допустимые уровни) воздействия* факторов среды обитания. Собственная методология,

предмет исследования и нормативная база создали предпосылки для определения новой науки. Такое определение дал проф. С.Н.Черкинский в 1945 г., оно вошло в энциклопедические издания и научные руководства.

Коммунальная гигиена - раздел гигиены, изучающий влияние факторов среды обитания на здоровье человека в условиях населенных мест (поселений) и на этой основе разрабатывающий гигиенические нормативы и санитарные правила, обеспечивающие сохранение здоровья и благоприятные условия жизни населения.

Как учебная дисциплина коммунальная гигиена официально введена в учебный план санитарно-гигиенических (ныне медико-профилактических) факультетов в 1933 г., в год открытия этих факультетов в медицинских вузах Советского Союза. Первая программа по коммунальной гигиене, разработанная на кафедре коммунальной гигиены I ММИ, была официально утверждена в 1936 г. Ее содержание отражало борьбу двух направлений - санитарно-технического и физиолого-гигиенического. В последующих редакциях программы прослеживается эволюция в сторону физиолого-гигиенического направления: *установления причинно-следственных связей состояния здоровья человека с воздействием на него факторов среды обитания.*

Одновременно с формированием коммунальной гигиены как самостоятельной науки происходила и ее дальнейшая дифференциация. В настоящее время можно считать четко оформившимися следующие разделы коммунальной гигиены:

- *гигиена воды и питьевого водоснабжения;*
- *санитарная охрана водных объектов;*
- *гигиена почвы;*
- *гигиена атмосферного воздуха поселений;*
- *гигиена жилых и общественных зданий, лечебно-профилактических учреждений, гигиена систем автономного жизнеобеспечения.*

Разделы, посвященные наиболее важным элементам среды обитания, объединяет гигиена *планировки населенных мест (поселений).*

Коммунальная гигиена использует методы фундаментальных наук - физики, химии, физиологии человека, биохимии и др., а также методы санитарного описания, гигиенического картографирования, математической статистики. Начинают внедряться и имеют большую перспективу методы математического моделирования.

Проблемы гигиены населенных мест привлекали к себе внимание еще на заре формирования научных гигиенических представлений. В руководствах по гигиене крупнейших гигиенистов Западной Европы М. Петтенкофера, К. Флюгге, М. Рубнера нашли отражение вопросы, которые впоследствии стали основой коммунальной гигиены. Много внимания уделяли этим вопросам и отечественные гигиенисты. В 1865 г. была открыта первая в России кафедра гигиены в Казанском императорском университете. Первым профессором кафедры стал Аркадий Иванович Якобий (1827-1907). Разносторонне образованный ученый, А.И. Якобий известен как автор работ по медико-топографическим описаниям; в журнале М. Петтенкофера была опубликована работа «О вентиляционных формулах. Математические исследования». С 1873 по 1885 г. А.И. Якобий заведует кафедрой гигиены в Харьковском университете.

А.П. Доброславин (1842-1889) возглавлял секцию по оздоровлению населенных мест, общественных и частных зданий Русского общества охранения народного здравия, участвовал в комиссии по оздоровлению Петербурга. Он по праву считается основателем, первым профессором кафедры гигиены в Медико-хирургической академии в Петербурге (1871) и основоположником экспериментальной гигиены в России.

К числу основоположников отечественной гигиены принадлежал Ф.Ф. Эрисман (1842-1915), крупнейший русский гигиенист и видный санитарно-общественный деятель. Среди многочисленных работ Ф.Ф. Эрисмана имеются серьезные исследования по проблемам коммунальной гигиены: о жилищных условиях в Петербурге, о ночлежных домах. В 1884 г. он опубликовал работу «К вопросу о качестве и количестве воды для

водоснабжения городов», в которой были намечены основы гигиенического нормирования. Известны санитарные заключения Ф.Ф. Эрисмана о водоснабжении г. Николаева, качестве воды мытищинского водопровода, выборе места водозабора для петербургского водопровода. Большую роль в гигиенической науке и санитарной практике сыграли выпущенные Ф.Ф. Эрисманом «Руководство к занятиям гигиене» и краткий «Учебник гигиены».

Иринарх Полихрониевич Скворцов (1847-1921) возглавил кафедру гигиены в Казанском университете, сменив на этом посту А.И. Якобия в 1872 г.; он занимался всеми сторонами санитарного благоустройства города и санитарных условий жизни населения. С 1882 по 1885 г. И.П. Скворцов заведует кафедрой гигиены в Варшавском университете, где публикует материалы о санитарном состоянии в России путей сообщения, городов и сел и отчет о путешествии по Волге, Каме и Уралу, предпринятом специально для расширения профессиональных знаний.

Выдающимся ученым-гигиенистом и специалистом прежде всего в области коммунальной гигиены был Григорий Витальевич Хлопин (1863-1929). Ученик Ф.Ф. Эрисмана, он последовательно заведовал кафедрами гигиены в Юрьеве, Одессе и Петербурге, с 1904 по 1918 г. занимал кафедру в Институте для усовершенствования врачей, а с 1918 по 1921 г. - в Военно-медицинской академии в Петрограде. В 20-х годах вышло его оригинальное двухтомное руководство «Основы гигиены» и «Курс общей гигиены», где четко и объемно сформулирована конечная цель, стоящая перед гигиеной: «Основная задача этой науки заключается в том, чтобы сделать развитие человека наиболее совершенным, упадок жизни - наименее быстрым, жизнь наиболее сильной и смерть наиболее отдаленной». Более четверти века Г.В.Хлопин возглавлял русскую гигиеническую науку и в лице своих учеников, среди которых было 12 заведующих кафедрами гигиены, оставил большую и влиятельную школу отечественных гигиенистов (В.А. Углов, Н. Ласточкин, В.А. Яковенко, А.Ф. Никитин и др.).

Ученые-гигиенисты советского периода, как правило, начинали свою профессиональную деятельность практическими санитарными врачами или эпидемиологами в трудных условиях Гражданской войны и послевоенной разрухи. Среди них видное место занимают З.Г. Френкель, А.Н. Сысин, А.Н. Марзеев.

Захарий Григорьевич Френкель (1869-1970), заслуженный деятель науки, действительный член АМН СССР, с 1896 г. работал санитарным врачом Новоладожского уезда Новгородской губернии, затем - Петергофского санитарного участка, заведовал санитарным бюро в Вологде и Костроме. Вскоре после Октябрьской революции организовал музей коммунальной и социальной гигиены в Петрограде, в 1922 г. в Институте для усовершенствования врачей основал первую в СССР кафедру коммунальной гигиены, которой заведовал до 1953 г. Кроме того, он участвовал и в подготовке инженеров, читая курс коммунальной гигиены в Политехническом институте и в Институте коммунального хозяйства. Труд З.Г. Френкеля «Основы общего городского благоустройства» долго служил руководством для санитарных врачей и коммунальных инженеров. З.Г. Френкелю принадлежит более 250 научных работ. Он продолжал активную научную деятельность до конца своей жизни; его последние работы опубликованы в 1969 и 1970 гг.

Алексей Николаевич Сысин (1879-1956), заслуженный деятель науки, действительный член АМН СССР, окончил Московский университет в 1908 г. Еще студентом участвовал в борьбе с эпидемией холеры. Став врачом, работал последовательно в Саратовском, Екатеринославском, Вологодском, Нижегородском земствах. В 1913 г. А.Н. Сысин был избран на должность городского санитарного врача Москвы и во время Первой мировой войны руководил эвакуационным госпитальным делом и борьбой с эпидемическими заболеваниями в городе. Со дня организации в 1918 г. Наркомздрава РСФСР и до 1923 г. А.Н.Сысин возглавлял его санитарно-эпидемиологический отдел. При непосредственном участии А.Н. Сысина был подготовлен

проект декрета «О санитарной охране жилищ», разработаны первые «Санитарные правила по постройке жилых зданий» (1929), «Временный стандарт качества воды, подаваемой в сеть хозяйственно-питьевых водопроводов» (1939) и другие документы. Исключительно велика роль А.Н. Сысина в развитии гигиенической науки в период работы его заведующим кафедрой гигиены МГУ (1924-1931). С 1932 г. и до конца жизни А.Н. Сысин был директором Научно-исследовательского института общей и коммунальной гигиены (ныне НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды РАМН), которому было присвоено его имя. Как руководитель этого института А.Н. Сысин оказал большое влияние на развитие исследований по коммунальной гигиене в нашей стране.

Александр Никитич Марзеев (1883-1956), заслуженный деятель науки, действительный член АМН СССР, окончил Московский университет в 1911 г. Еще студентом старшего курса он участвовал в борьбе с эпидемией холеры в Донбассе. С этого времени и до конца жизни его труд был посвящен борьбе с эпидемиями, санитарному оздоровлению страны. В 1922 г. А.Н. Марзеева, санитарного врача областной санитарной организации, назначают на должность заведующего санитарно-эпидемиологическим отделом Наркомздрава Украины, которым он руководил до 1934 г. В 1925 г. А.Н. Марзеев организовал кафедру гигиены в Харьковском институте усовершенствования врачей, а в 1933 г. - кафедру коммунальной гигиены в Харьковском медицинском институте, которые возглавлял до 1941 г. Во время Великой отечественной войны А.Н. Марзеев заведовал кафедрой эпидемиологии в Алма-Атинском медицинском институте, а с 1944 г. - кафедрами коммунальной гигиены Института усовершенствования врачей и медицинского института в Киеве. В 1951 г. вышел созданный А.Н. Марзеевым учебник для санитарно-гигиенических факультетов медицинских институтов «Коммунальная гигиена». Учебник был переведен затем на польский и китайский языки и выдержал 3 издания. Список 130 работ А.Н. Марзеева отражает его разностороннюю санитарную деятельность и чрезвычайно широкие научные интересы. В 1965 г. вышли написанные им «Воспоминания санитарного врача»; санитарным врачом А.Н. Марзеев продолжал считать и называть себя независимо от званий и должностей.

Актуальные проблемы коммунальной гигиены

Большой перелом в развитии коммунальной гигиены произошел в конце 40-х годов XX века. На первых порах в коммунальной гигиене преобладало так называемое санитарно-техническое направление: гигиенисты ограничивались изучением среды обитания человека без учета ее влияния на здоровье. В процессе научной дискуссии на страницах периодической печати и в докладах, прозвучавших на съездах гигиенистов, было признано, что в основе гигиенических научных разработок должна лежать *оценка влияния среды обитания на здоровье человека и условия его жизни.* Перелому во многом способствовали решения Объединенной сессии АН СССР и АМН СССР, посвященной физиологическому учению И.П. Павлова (1950). Указанное обстоятельство дало толчок к возникновению и развитию нового научного направления в коммунальной гигиене - *гигиеническому нормированию факторов среды обитания человека.* Широко поставленные в исследованиях по этому направлению санитарные и санитарно-токсикологические эксперименты позволили выяснить характер длительного (хронического) воздействия малых доз химических веществ на организм теплокровных и обосновать предельно допустимые концентрации, при которых исключены вредные последствия для человека.

Влияние водного фактора на здоровье человека начал изучать проф. С.Н. Черкинский. Самуил Наумович Черкинский (1897-1980) - член-корреспондент АМН СССР, заслуженный деятель науки РСФСР, почетный член научных обществ Чехословакии, Болгарии, Венгрии и Германии. После окончания медицинского факультета Московского университета с 1922 по 1929 г. он работал уездным санитарным врачом в Московской губернии, а с 1930 г. - в гигиенических научно-исследовательских институтах. Одновременно с 1936 г. он доцент, а с 1938 г. заведующий кафедрой коммунальной гигиены I ММИ. Основное направление научных исследований С.Н.

Черкинского и созданной им научной школы - гигиена воды и питьевого водоснабжения и санитарная охрана водных объектов. Его ученики подготовили и защитили более 150 диссертаций, в том числе 27 докторских. Его монография «Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы» (1949) выдержала 5 изданий. Под редакцией С.Н. Черкинского и при его участии вышли 2-й том «Руководства по коммунальной гигиене» (1962) и «Руководство по гигиене водоснабжения» (1975). Всего он опубликовал более 260 научных работ, в том числе 12 монографий.

Большой вклад внес С.Н. Черкинский в развитие санитарного законодательства в области гигиены воды и питьевого водоснабжения. Под его руководством в 40-70-х годах разработаны все государственные стандарты качества питьевой воды, выбора источника питьевого водоснабжения, положения о зонах санитарной охраны водопроводов питьевого назначения, правила санитарной охраны водных объектов.

С.Н. Черкинский всегда поддерживал непосредственную связь с практическими учреждениями санитарно-эпидемиологической службы, ее руководителями и санитарными врачами.

Гигиеническое нормирование химических веществ в атмосферном воздухе основал и развил В.А. Рязанов. Владимир Александрович Рязанов (1903-1968) - академик АМН СССР, заслуженный врач РСФСР. В 1926 г. он окончил медицинский факультет Воронежского университета. Работал санитарным врачом, с 1930 по 1945 г. был руководителем Пермской санитарной организации. В 1943 г. был избран заведующим кафедрой коммунальной гигиены Пермского медицинского института, в 1946-1952 гг. - первый заместитель министра здравоохранения, главный государственный санитарный инспектор РСФСР. С 1952 по 1964 г. возглавлял кафедру коммунальной гигиены Центрального института усовершенствования врачей в Москве, а с 1962 г. - директор Научно-исследовательского института общей и коммунальной гигиены им. А.Н. Сысина АМН СССР.

В докторской диссертации В.А. Рязанова «Планировка городов в связи с проблемой дыма» впервые были сформулированы принципы гигиенического нормирования и критерии вредности промышленных компонентов атмосферного воздуха, которые явились основой установления предельно допустимых концентраций в нашей стране и в странах Восточной Европы. В последующих работах В.А. Рязанова и его учеников решались теоретические вопросы механизма действия атмосферных загрязнений при изолированном и комбинированном поступлении в организм, а также методические подходы к изучению влияния атмосферных загрязнений на здоровье человека. Принципиальное значение для развития гигиены как науки сыграла работа В.А. Рязанова «Два направления в современной гигиенической науке» (1949), в которой подтверждается приоритетность физиологического направления в современной гигиене.

Гигиеническое нормирование экзогенных химических веществ в почве обязано своим развитием Е.И. Гончаруку (1932-2004) - украинскому гигиенисту, профессору, академику АМН СССР и НАН Украины, заведующему кафедрой коммунальной гигиены Киевского медицинского института.

Гигиеническое нормирование факторов искусственной среды обитания (микроклимата) развивал М.С. Горомосов, а впоследствии его ученики; в области *гигиенического нормирования шумового фактора* большое значение имеют работы И.Л. Карагодиной.

Гигиена планировки населенных мест получила развитие практически на новой методологической основе в работах профессора К.Г. Берюшева (1892-1973). В монографии «Предупредительный санитарный надзор за планировкой, застройкой и благоустройством населенных мест в СССР» (1962) он изложил основы гигиенических требований к планировке и благоустройству городов в условиях массового жилищного строительства с использованием типового проектирования жилых и общественных

зданий. В 80-х годах XX века гигиена планировки поселений получила дальнейшее развитие в работах Новосибирского НИИ гигиены (Добринский А.А.).

Взаимодействие коммунальной гигиены с другими науками

Коммунальная гигиена (медицинская наука) тесно взаимодействует с экологией (биологической наукой). Это разные, самостоятельные науки со своей методологией, объектами и предметами исследования, нормативной базой (см. таблицу).

Однако основной задачей прикладных разделов этих наук (санитария и охрана природы) являются оценка технологических решений, инженерных систем, сооружений, устройств, направленных на улучшение замкнутости технологического круговорота вещества и энергии, на снижение техногенного (антропогенного) давления на *природную среду* в целом (экология) и на *среду обитания человека и его здоровье* (гигиена).

Гигиена и экология (науковедческий анализ)

Науковедческий критерий	**Гигиена**	**Экология**
1	**2**	**3**
Определение науки	«Медицинская наука, изучающая влияние факторов среды обитания на здоровье человека, его работоспособность, условия жизни, разрабатывающая нормативы... направленные на оздоровление населенных мест, условий жизни людей» (ЭСМТ, 1983) «Гигиена - искусство или знание сохранять здоровье, охранять его от вреда» (В. Даль, 1880)	«Наука о взаимоотношении организмов между собой. это физиология взаимоотношений организмов со средой и друг с другом» (Э. Геккель, 1866) «Синтетическая биологическая наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания» (И.И. Дедю, 1989)
Методология	Антропоцентрическая	Гео(космо)центрическая
Объект исследования	Человек (индивидуум), человеческие коллективы при понимании неразрывности внутренней и внешней среды человека (И.М.Сеченов) и	Экосистема, включающая биоценоз и биотоп

Продолжение табл.

1	2	3
	единства в человеке биологического и социального	
Предмет исследования	Причинно-следственные связи в системе человек-среда обитания	Причинно-следственные связи в экосистеме на биоценотическом уровне
Нормирование	Установление пределов интенсивности и продолжительности воздействия *на организм человека* факторов среды обитания - *не только антропогенных, но и природных.* (ЭСМТ, 1983)	Нормирование любого *антропогенного воздействия на экосистему* по реакции экосистемы в целом или ее «критического звена». Критерий допустимой нагрузки - отсутствие снижения продуктивности, стабильности, разнообразия системы. (И.И. Дедю, 1989)

В современных условиях невозможно решение вопросов коммунальной гигиены без рассмотрения соответствующих экологических моментов. Например, внедрение в

агротехническую практику гигиенических нормативов предельно допустимых концентраций ядохимикатов, организация санитарного надзора за их соблюдением не устранит неблагоприятного влияния почвы на здоровье населения, если параллельно и одновременно не проводить борьбу с антропогенной деградацией почвы (эрозии, снижение содержания гумуса, снижение видового разнообразия биогеоценоза и пр.), которая является предметом экологии. Правовое регулирование предупреждения этих неблагоприятных явлений - предмет деятельности государственных органов охраны природной среды. Успешная деятельность санитарно-эпидемиологической службы в области коммунальной гигиены, достижения санитарно-эпидемиологического благополучия возможна лишь при сочетании надзора за соблюдением санитарных правил и гигиенических нормативов, и стремления к решению крупных экологических (природоохранных) проблем совместно с органами государственной власти и муниципалитетами.

Ошибочна как попытка решения экологических проблем с помощью нормативных правовых инструментов санитарно-эпидемиологического надзора, так и борьба за санитарно-эпидемиологическое благополучие в неблагоприятной экологической обстановке без усилий по ее изменению.

Принципиальной основой санитарных правил и гигиенических нормативов в области коммунальной гигиены является научное обоснование предельно допустимого (реже оптимального) по воздействию на здоровье уровня факторов искусственной среды обитания и природных факторов в условиях населенных мест (поселений).

Соблюдение санитарных правил - компетенция специалистов в области технологии водоподготовки и подачи питьевой воды, в области обезвреживания промышленных выбросов в атмосферный воздух, жидких и твердых отходов производства и потребления, в области гражданского строительства, благоустройства и озеленения населенных мест и пр.

Коммунальный санитарный врач должен быть знаком с принципиальными основами соответствующих смежных наук и работать в тесном деловом сотрудничестве с соответствующими специалистами в процессе составления заданий на проектирование, санитарной экспертизы проектов, санитарного надзора в процессе строительства и при участии в работе комиссий по приемке построенных объектов в эксплуатацию (приемочных комиссий).

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор в нашей стране организуется и осуществляется на основе и в рамках государственного законодательства. Санитарные правила и гигиенические нормативы являются *государственными правовыми нормативными актами,* основанными на Конституции, кодексах и законах России, а иногда и на нормах международного права. Для грамотного пользования санитарными правилами санитарному врачу необходимо знать не только их научное обоснование, но и основы государственного, санитарного и природоохранного законодательства.

Особенности современной коммунальной гигиены

В современном постиндустриальном обществе невозможно автономное существование отдельных поселений, как в феодальные времена и в начале периода индустриализации, а характерно широкое развитие межпоселенных экономических, хозяйственных, культурных и прочих связей. Организационная и пространственная структура современных крупных городов также весьма сложна. Мы стоим перед необходимостью создания территориальной системы расселения в масштабах всей страны и иерархии территориальных систем, включающей федеральный, региональный и поселенный уровни. Такой системный подход предусмотрен Градостроительным кодексом России (ФЗ 73, 1998).

В территориальной системе расселения отражены структура и функциональные связи входящих в нее подсистем, что по существу и является объектом исследования коммунальной гигиены. Учитывая, что для освоения гигиенических аспектов

территориальной системы расселения необходимы знания о влиянии на здоровье человека факторов среды, составляющих территориальную систему, т.е. всех остальных разделов коммунальной гигиены, ее детальное рассмотрение отнесено в последний раздел учебника - Гигиену планировки поселений.

Сложность и многосторонняя взаимообусловленность факторов среды обитания современного поселения явились побудительным мотивом для введения системы постоянного наблюдения за влиянием факторов среды на здоровье населения; такая система получила название социально-гигиенический мониторинг. Социально-гигиенический мониторинг введен в России Постановлением Правительства России 426 от 01.06.00.

Социально-гигиенический мониторинг - это государственная система наблюдений за состоянием здоровья населения и состоянием среды обитания, их анализа, оценки и прогноза, а также определения причинно-следственных связей между воздействием факторов среды и состоянием здоровья человека.

Основной целью мониторинга является систематизация информации, необходимой для принятия управленческих решений, направленных на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения. При ведении мониторинга формируется *федеральный информационный фонд* данных о состоянии здоровья населения и среды обитания. В формировании информационного фонда, в соответствии с Постановлением Правительства, принимает участие большое число государственных служб и ведомств, которые владеют соответствующей информацией. Координатором ведения социально-гигиенического мониторинга является Министерство здравоохранения России в лице Департамента санитарно-эпидемиологического надзора.

Мониторинг проводится по отдельным программам на федеральном уровне, уровне субъектов Федерации и муниципальных образований. На основе данных информационного фонда выявляются причинно-следственные связи между воздействием факторов среды обитания и состоянием здоровья населения. Масштабом для оценки воздействия факторов среды на здоровье являются *гигиенические нормативы* - предельно допустимые концентрации (ПДК) или уровни ПДУ воздействия). Большая база данных по санитарно-токсикологическим параметрам, включая гигиенические нормативы в различных средах, накоплена в *Федеральном регистре потенциально опасных химических и биологических веществ.*

С конца XX века в гигиене, в частности в коммунальной, стал внедряться новый метод оценки влияния факторов среды на здоровье человека в реальных условиях существования конкретных социальных, возрастных, профессиональных групп (субпопуляций) населения. Этот метод получил название *оценка риска воздействия факторов среды обитания на человека.* Суть метода в *вероятностном подходе* к оценке влияния факторов среды, в отличие от *детерминированного подхода* при прямом использовании гигиенических нормативов (ПДК или ПДУ) в качестве масштаба оценки воздействия. Вероятностный подход позволяет дать предметную оценку прогноза состояния здоровья населения при воздействии средовых факторов в условиях конкретной санитарной ситуации (конкретного поселения), особенно когда речь идет о комплексном или сочетанном их воздействии, а также с учетом возможности межсредовых переходов повреждающего фактора. С помощью метода оценки факторов риска возможно осуществить сравнительную оценку эффективности различных вариантов управленческих решений в области санитарно-эпидемиологического благополучия не только с гигиенических, но и с экономических позиций. Следует отметить, что в основе нового метода заложены те же гигиенические нормативы; предложен только другой подход к их использованию при оценке конкретной санитарной ситуации. Внедрение в практику гигиенических исследований, в практику государственного санитарно-эпидемиологического надзора концепции риска можно рассматривать как дальнейшее развитие в гигиене физиологического направления.

РАЗДЕЛ 1. ГИГИЕНА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ
ГЛАВА 1. ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ И ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДЫ

Вся масса воды в жидкой и в газообразной и в твердой форме находится в непрерывном движении, переполнена действенной энергией, сама вечно меняется и меняет все окружающее.

Картина видимой природы определяется водой.

В.И. Вернадский

1.1. Особенности физических и химических свойств воды и ее физиологическая роль

Вода (оксид водорода) - одно из простейших природных соединений, состоящее из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Возможно 42 сочетания этих атомов; 9 таких сочетаний устойчивы. Таким образом, природная вода состоит из смеси молекул нескольких видов с разными свойствами.

Кислород молекулы воды имеет две пары электронов, не участвующих в образовании ковалентных связей, и способен образовывать так называемые водородные связи с соседними молекулами. Благодаря этим взаимодействиям в жидкой воде формируются ассоциации молекул, называемые кластерами. Следовательно, воду можно рассматривать как *смесь мономерных молекул и водородосвязанных кластеров, находящихся в динамическом равновесии.* Такая структура воды и затраты энергии на взаимопереходы ее различных состояний обусловливают ряд «аномальных» свойств, имеющих большое биологическое значение.

Вода обладает большой теплоемкостью. Биохимические процессы в водной среде протекают в меньшем диапазоне температур и с более постоянной скоростью.

Вода имеет большую теплоту испарения. Испарение воды, связанное с преодолением сил молекулярного сцепления в ней, требует значительной энергии вследствие существования водородных связей между молекулами. Энергия, необходимая для испарения воды, черпается из ее окружения, что приводит к охлаждению окружающих предметов. Это свойство воды используется организмом для поддержания температурного гомеостаза через потоотделение.

Вода имеет большую теплоту плавления, что уменьшает вероятность замерзания цитоплазмы клеток и межтканевой жидкости при низкой температуре внешней среды. Кристаллы льда губительны для живого, они могут повредить оболочку клетки.

Вода - универсальный растворитель для полярных молекул - солей, спиртов, сахаров. Она обладает уникальной способностью разрывать практически все виды молекулярных и межмолекулярных связей и образовывать растворы. Это обусловливает большое разнообразие состава природных вод, зависящее как от природных (состав водовмещающих горных пород, состав биоценоза водного объекта), так и от техногенных (сброс промышленных сточных вод, промышленные выбросы в атмосферный воздух, аварии танкеров и пр.) факторов.

Из-за асимметрии расположения атомов молекула воды является диполем, что определяет ее особое поведение в электромагнитных полях, а также активное участие в механизмах их поглощения и действия на организм. При 20 °С диэлектрическая постоянная воды равна 81. Это значит, что два противоположных электрических заряда в воде взаимно притягиваются с силой, равной приблизительно 1/80 их взаимодействия в воздухе, и что отделение ионов от кристаллов какой-либо соли происходит в воде в 80 раз легче, чем в воздухе.

Перечисленные «аномальные» физико-химические свойства воды объясняют ее активное участие в физиологических процессах и обмене веществ в живом организме.

Способная к диссоциации вода усиливает диссоциацию других веществ. Взаимодействие воды с растворенными в ней веществами обусловливает многие структурные и функциональные изменения клетки. В этом смысле можно утверждать,

что биологические функции в значительной степени сопряжены с построением и разрушением водных структур.

Этими «аномальными» свойствами обусловлена особенная роль воды в возникновении и существовании Жизни. Еще в древности было замечено: «Aqua omnia sunt» - вода существует везде.

Это обстоятельство необходимо учитывать при подготовке питьевой воды. Филогенез Человека проходил в тесном контакте с природной водой. Стремясь к безвредности и безопасности питьевой воды, мы должны с осторожностью использовать технологическую мощь цивилизации, чтобы не исказить уникальную структуру и химические свойства воды.

Таким образом, сложная структура и особые физико-химические свойства воды - ключ к пониманию универсальной роли воды в регуляции биологических процессов. Физиологическая и гигиеническая роль воды более конкретно рассмотрена в следующих разделах. В гигиеническом понимании вода - не просто химическое соединение водорода и кислорода. Природная вода и приготовляемая из нее *вода питьевая* как объект изучения гигиены представляют собой сложную физико-химическую и биологическую систему.

Проблема питьевого водоснабжения затрагивает очень многие стороны жизни человеческого общества в течение всей истории его существования. В настоящее время это проблема социальная, политическая, медицинская, географическая, а также инженерная и экономическая.

Больше всего воды потребляют промышленность и сельское хозяйство - более 90% воды, изымаемой из природного круговорота. На питьевые и бытовые потребности населения, коммунальных объектов, лечебно-профилактических учреждений, а также на технологические нужды предприятий пищевой промышленности расходуется около 5-6% общего водопотребления. Технически обеспечить подачу такого количества воды нетрудно, но потребности должны удовлетворяться водой определенного качества, так называемой *питьевой водой.*

Несмотря на то что забота о питьевой воде, ее качестве и количестве сопровождает человечество на протяжении всей его истории, определение «питьевая вода» сформировалось лишь в последнее время и нашло место в законах и других правовых актах по питьевому водоснабжению.

Питьевая вода - вода в естественном состоянии или после обработки (очистки, обеззараживания, добавления недостающих веществ), отвечающая по качеству установленным нормативным требованиям и предназначенная для питьевых и бытовых нужд человека, либо для производства пищевой продукции.

В этом определении требует пояснения фрагмент «отвечающая по качеству установленным нормативным требованиям». Речь идет о требованиях к совокупности свойств и состава воды, при которых она не оказывает неблагоприятного влияния на здоровье человека как при питье, так и при использовании в гигиенических целях, а также при производстве пищевой продукции (является безвредной и безопасной). Эти требования формулируются в национальных документах, издаваемых либо законодательной (в виде законов или декретов), либо исполнительной властью - правительством или его специально уполномоченными органами (в виде нормативных правовых актов).

Не имея никакой питательной ценности, вода обеспечивает все жизненные процессы в организме. Пищеварение, обмен веществ, синтез тканей и т.п. совершаются при активном участии воды. Она является растворителем для органических и неорганических веществ, необходимых для поддержания функций организма. Вода удаляет из организма вредные продукты, остающиеся после усвоения необходимых веществ, регулирует температуру тела, содержание солей в тканях и жидкостях и участвует во множестве других процессов, без которых невозможно функционирование живых клеток.

Вода и растворенные в ней вещества, в том числе минеральные соли, создают *внутреннюю среду* организма, свойства которой сохраняются постоянными или закономерно изменяются при изменении функционального состояния органов и клеток.

Вода тканей является не просто растворителем или инертным компонентом, она играет существенную структурную и функциональную роль. Вода имеет большое значение для структурной организации биологических мембран и их основы - двойного липидного слоя, в котором гидрофильные поверхности каждого монослоя взаимодействуют с водой, отграничивая от нее гидрофобное пространство внутри мембраны, между монослоями. Взаимодействие белков с водой приводит к их конформации с соответствующим расположением гидрофобных и гидрофильных групп в белковой глобуле, что обеспечивает физиологическое функционирование белков.

Вода служит средством транспорта веществ как в пределах клетки и окружающего ее межклеточного вещества, так и между органами через кровеносную и лимфатическую системы. Большинство химических реакций в организме проходит в водной фазе. Во многих химических превращениях вода служит реагентом, это реакции гидролиза, гидратации, дегидратации, гидроксилазные реакции.

Почти 70% массы тела человека составляет вода. Суточное потребление воды с пищей и напитками в обычных условиях равно 2-3 л. При лишении питья человек умирает через несколько суток в результате дегидратации тканей, когда количество воды в организме уменьшается примерно на 12%.

Около 70% воды в организме - внутриклеточная вода. В межклеточном пространстве содержится 25% воды, остальная - в кровяном русле. Между этими тремя основными бассейнами происходит интенсивный обмен жидкостью. Например, диффузия жидкости через стенки капилляров в теле человека составляет около 1500 л/мин. Вся жидкость организма фильтруется через почки 4 раза за сутки.

Основными параметрами жидкой среды организма являются осмотическое давление, pH и объем. Гомеостаз внутриклеточной среды обеспечивается постоянством указанных параметров во внеклеточной жидкости. Основной механизм *регуляции осмотического давления* связан с изменением скорости выделения либо воды, либо хлорида натрия; *регуляция объема* происходит путем одновременного изменения скорости выделения и воды, и хлорида натрия. *Регуляция pH* обеспечивается избирательным выделением водных растворов кислот или щелочей с мочой.

При нарушении водно-солевого гомеостаза могут развиваться такие патологические состояния, как отеки или дегидратация тканей, снижение или повышение артериального давления, ацидоз или алкалоз.

Благодаря большой теплоемкости и высокой теплопроводности вода участвует в терморегуляции, способствуя теплоотдаче (потоотделение, испарение, тепловая одышка, мочеотделение).

Потребление воды регулируется механизмом жажды. Чувство жажды, которое формируется у человека на подсознательном уровне, есть показатель нарушения либо осмотического давления, либо объема воды. Удовлетворение чувства жажды - свидетельство восстановления гомеостаза внутренней среды организма, его благополучия. Удовлетворить чувство жажды можно лишь водой с определенными параметрами минерализации, адекватными внутренней среде организма. В этом заложена физиологическая основа гигиенического нормирования минерализации питьевой воды.

1.2. Гигиенические функции питьевой воды

Питьевая вода - это не только 2-3 стакана, которые человек выпивает за день в спокойной будничной обстановке. Для приготовления пищи необходимо 2-3 л/сут на 1 человека. При работе в так называемых горячих цехах, в жарком климате суточная норма питьевой воды увеличивается до 10-11 л. Вместе с тем опасность контакта с патогенными

микроорганизмами и химическими примесями в условиях нарушенного водно-солевого баланса организма многократно возрастает.

В организм человека вода поступает не только при питье, воду заглатывают под душем, при умывании, чистке зубов и т.д. Достаточно большое количество воды питьевого качества требуется для уборки жилища, стирки белья и чистки одежды.

Доброкачественная (питьевая) вода в городском водопроводе обеспечивает санитарное благополучие пищевой промышленности, в которой питьевая вода расходуется не только в основных технологических процессах, но и при ряде вспомогательных операций. Расход питьевой воды при производстве молочных продуктов составляет тонну на тонну сырого молока; на производство 1 банки овощных консервов расходуют до 40 л воды. Питьевая вода - это основная часть различных напитков.

Санитарное состояние лечебно-профилактических учреждений также зависит от количества потребляемой воды. Для обеспечения должного санитарного режима в больнице необходимо не менее 250 л питьевой воды на 1 койку, на 1 посещение в поликлинике - не менее 15-20 л. Централизованное водоснабжение лечебно-профилактических учреждений является важным условием предупреждения внутрибольничных инфекций.

Воду используют для проведения оздоровительных и физкультурных мероприятий (плавательные бассейны), а также в гидротерапии.

Большие объемы воды в городах потребляет коммунальное хозяйство. В бане на 1 моющегося расходуется не менее 120-150 л воды, в прачечной на 1 кг белья необходимо 40 л воды. Важна роль воды в поддержании чистоты улиц, территории промышленных предприятий. Много воды нужно для поливки зеленых насаждений.

Во всех перечисленных случаях для сохранения санитарно-эпидемиологического благополучия необходима вода питьевого качества. В современных поселениях это может обеспечить только *централизованная система питьевого водоснабжения.*

Количество воды. Нормы водопотребления. В связи с развитием централизованных систем питьевого водоснабжения нужно знать, сколько воды необходимо человеку для удовлетворения своих потребностей. Обоснованного норматива водопотребления нет. На душевое потребление воды из централизованной системы водоснабжения влияют благоустройство жилища и индивидуальные особенности потребителя, т.е. человека. Немаловажное значение имеет культура потребления воды. Опыт показывает, что при централизованном горячем водоснабжении или при использовании газовых или электрических водонагревателей в городском жилище достаточно 150-180 л/сут на человека. При водоснабжении из уличных водоразборных устройств расход воды редко превышает 60 л/сут на человека. Как следует из табл. 1.1, удельное водопотребление в городах Европы в среднем составляет около 300 л/(чел.-сут), в том числе расход в квартирах - около 150 л/(чел.- сут).

Таблица 1.1. Водопотребление в некоторых крупных городах европейских стран в последней четверти XX века

Город	Численность населения, тыс. человек	Водопотребление, л/(чел.-сут)	
		всего	населением
Мадрид	3990	305	162
Барселона	3147	272	106
Брюссель	2100	304	200
Будапешт	2100	417	192
Лиссабон	2000	210	73
Гамбург	1950	221	181
Вена	1600	276	113
Варшава	1552	343	230

Мюнхен	1359	380	179
Амстердам	1100	204	100
Антверпен	1000	329	85
Копенгаген	850	309	173
Хельсинки	486	393	212

К публикуемым в печати нормам водопотребления более 300 л/(чел.-сут) следует относиться критически. Как правило, речь идет либо о средних расходах воды в системе водоснабжения, включая и воду, израсходованную промышленностью, отнесенных к численности населения, либо о воде, подаваемой водопроводной станцией в город, без учета утечек воды как в магистральных, так и в домовых распределительных сетях, которые иногда могут достигать 20-40%. По правилам эксплуатации централизованных систем водоснабжения в европейских странах утечки в распределительных сетях не должны превышать 10%. Истинные величины душевого водопотребления можно определить лишь тогда, когда имеются квартирные счетчики.

Нормы водопотребления, приведенные в Строительных нормах и правилах (СНиП), являются *расчетными величинами,* предназначенными для целей проектирования системы водоснабжения, и учитывают проектируемый уровень благоустройства в поселении, для

которого разрабатывается проект водопровода. В эти нормы включено питьевое и бытовое потребление в жилых и общественных зданиях, удовлетворение нужд коммунально-бытовых предприятий (бани, прачечные и пр.). Питьевое и бытовое потребление на промышленных предприятиях, производственные нужды промышленных и сельскохозяйственных предприятий, на которых требуется вода питьевого качества, собственные нужды станций водоподготовки, расходы воды на промывку водопроводных и канализационных сетей рассчитываются отдельно.

С целью экономии питьевой воды при условии санитарно-эпидемиологического обоснования возможно устройство в городе самостоятельного водопровода для поливки и мытья улиц, работы фонтанов, подпитки декоративных прудов на территории поселения, поливки зеленых насаждений и газонов.

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ И УСЛОВИЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ

2.1. Гигиенический критерий качества питьевой воды

В основе гигиенических требований к качеству питьевой воды лежат те качества воды, от которых зависят здоровье человека и условия его жизни. Влияние некачественной воды на здоровье может быть *непосредственным* в виде инфекционных заболеваний или заболеваний неинфекционной природы и интоксикаций, и *косвенным* в виде неприятных органолептических ощущений, что заставляет человека отказываться от употребления такой воды. Иначе говоря, вредное влияние воды может сказаться лишь при определенных условиях, а именно если она содержит возбудители инфекционных заболеваний, химические вещества в концентрациях, опасных для здоровья человека, или обладает необычными органолептическими свойствами.

На основе этих представлений в середине XX века был сформулирован гигиенический критерий качества питьевой воды (триада гигиенических требований к качеству питьевой воды). Питьевая вода должна:

- быть безопасной в эпидемическом и радиационном отношении;
- быть безвредной по химическому составу;
- обладать благоприятными органолептическими свойствами.

Эта триада ныне нашла признание во всем мире; на ее основе создаются национальные нормативные документы по качеству питьевой воды и контролю этого качества. На этих же принципах основано «Руководство по контролю качества питьевой воды», изданное Всемирной организацией здравоохранения в 1984 и 1994 гг.

На основе триады гигиенических требований к качеству питьевой воды в нашей стране создавались государственные стандарты - ГОСТ «Вода питьевая» с 1954 г.

Были предложения ввести в триаду новые критерии (радиационная безопасность и физиологическая полноценность). Однако критерий «радиационная безопасность» по сути является частным случаем безопасности питьевой воды по химическому составу. Критерий «физиологическая полноценность» основывался на результатах исследований влияния на здоровье воды с различным солевым составом. Получила всеобщее признание оптимальная концентрация фтора в питьевой воде на уровне 1 мг/л, предложенная отечественными учеными в 50-х годах и многократно подтвержденная в повторных экспериментах. Минимальные концентрации натрия должны составлять 200 мг/л, магния - 5 мг/л, приемлемое общее солесодержание (сухой остаток) - 500 мг/л. Однако эти рекомендации справедливы лишь в умеренном климате, не соотнесены с полом, возрастом, профессией потребителя воды, временем года и множеством других факторов внутренней и внешней среды, определяющих физиологические потребности человека. Затруднительно дать заключение о физиологической полноценности рациона питания в целом, а суждение о физиологической полноценности питьевой воды неправомерно и по теоретическим соображениям. А.П. Авцын и его сотрудники установили, что биологически значимый эффект микроэлемента зависит не только от дозы, но и от очень сложных взаимоотношений микроэлементов в организме. Для оценки качества питьевой воды централизованных систем питьевого водоснабжения критерий «физиологическая полноценность» не применяется.

Физиологическую роль отдельных компонентов питьевой воды и их комбинаций учитывают при ее кондиционировании после глубокого опреснения, при регенерации воды из биологических жидкостей в системах автономного жизнеобеспечения (космические станции, подводные аппараты и пр.) в производстве бутилированной питьевой воды. Жителям горных районов с природной маломинерализованной водой должна быть доступна фторированная бутилированная вода или вода с повышенным

содержанием магния и кальция. В степных южных районах, где природная вода минерализована или имеет высокую жесткость, предпочтительнее снабжение бутилированной водой с низкой жесткостью.

2.2. Роль воды в распространении инфекционных болезней и инвазий

Биологические объекты в природной воде представлены бактериями, вирусами и простейшими. То, что вода может быть причиной массовых («повальных») болезней, было известно с древних времен. Вода выступала как фактор передачи заразного начала – патогенных микроорганизмов - возбудителей кишечных инфекций. Несмотря на несомненные успехи профилактической и лечебной медицины, эпидемиологическая роль воды в передаче кишечных инфекций остается актуальной. Со временем изменяется структура заболеваемости (соотношение болезней), но общее число заболевших в результате потребления недоброкачественной воды остается высоким (табл. 2.1). Ежегодно в России острыми кишечными инфекциями переболевает в среднем 0,7 млн человек, из них около 60% - дети раннего возраста; летальные исходы среди заболевших детей достигают 4000 в год. Экономический ущерб, наносимый острыми кишечными инфекциями, исчисляется сотнями миллионов рублей.

Таблица 2.1.Число водных вспышек и зарегистрированных в них острых кишечных инфекционных заболеваний

Эпидемиологические показатели	**1993 г.**	**1994 г.**	**1995 г.**	**1996 г.**	**1997 г.**	**1998 г.**
Вспышки	159	169	206	150	112	122
Заболевшие	6143	6174	8765	5479	3942	4403

Водным путем передаются холера, брюшной тиф, паратифы А и В, дизентерия, эшерихиозы, лептоспирозы, вирусные гепатиты А и Е и другие болезни, вызываемые энтеровирусами (полиомиелит, ротавирусный энтерит, эпидемический конъюнктивит). Менее значим водный путь передачи для бруцеллеза и туляремии.

В последние годы крупные водные эпидемии брюшного тифа, подобные происходившим в XIX и первой половине XX века, не регистрируются, а оставшаяся низкая заболеваемость связана не с водным, а с контактным путем передачи. Тем не менее эпидемическое неблагополучие по брюшному тифу сохраняется там, где есть предпосылки его распространения через питьевую воду.

Остается высокой заболеваемость дизентерией (дизентерия Флекснера), передаваемой водным путем.

Сравнительно «молодая» (первая эпидемия описана в 1943 г.) эпидемическая болезнь - вирусный гепатит А - часто переходит в хроническую форму или в цирроз печени. Большое число случаев этого заболевания возникает при передаче возбудителя водным путем.

В последние годы среди инфекционной заболеваемости, связанной с водным фактором, увеличилась доля*эшерихиозов* - дизентериеподобных заболеваний, вызванных *патогенными штаммами кишечной палочки.* Кишечная палочка - обычный представитель микрофлоры толстой кишки. Она является антагонистом патогенных и гнилостных бактерий, участвует в синтезе витаминов Е, К, группы В. Однако встречаются штаммы кишечной палочки, образующие экзотоксин с энтеротропными и пирогенными свойствами. Эшерихиозами чаще страдают маленькие дети, у которых еще не сформировалась иммунная система.

Кроме возбудителей холеры, брюшного тифа, дизентерии в водопроводной воде могут присутствовать так называемые условно-патогенные микроорганизмы, которые способны вызывать заболевания при определенных условиях. Это протей, клебсиелла, цитробактер, псевдомонас и аэромонас, которые имеют много общих признаков с истинной кишечной палочкой - признанным показателем свежего фекального загрязнения. Однако их присутствие в воде не связано со свежим фекальным загрязнением источника.

Условно-патогенные микроорганизмы способны размножаться во внешней среде. Они размножаются в воде, содержащей много органических веществ биологического происхождения, а также в резервуарах чистой воды водопроводов при несоблюдении режима их промывок. Кроме так называемых колиподобных микроорганизмов, в воде есть другие условно-патогенные - клостридии, иерсинии, фекальный стрептококк, парагемолитический вибрион, гафнии. Все эти виды микроорганизмов способны вызывать расстройства функции кишечника с поносом, которые по официальной медицинской статистике проходят как острые кишечные инфекции (ОКИ) неустановленной этиологии. Конечно, «неустановленность» возбудителя - следствие плохой работы диагностических бактериологических и вирусологических лабораторий. Нераспознанность этиологии ОКИ - одна из косвенных причин низкой эффективности профилактических мероприятий.

В последние годы во многих странах описаны вспышки заболеваний, вызванных паразитами - лямблиями и криптоспоридиями - при потреблении недоброкачественной питьевой воды. Цисты лямблий и ооцисты криптоспоридий достаточно устойчивы к действию веществ, применяемых для обеззараживания питьевой воды. В США с 1965 по 1980 г. отмечено более 15 000 случаев лямблиоза. Крупные водные вспышки происходили в США и в последующие годы. Такие же сообщения поступали из Великобритании, Канады, Финляндии и многих стран Азии, Африки и Южной Америки. Причиной вспышек, как правило, являлось потребление водопроводной воды либо без обработки, либо хлорированной, но без предварительной очистки.

В России в 1993 г. зарегистрировано более 1 млн заболевших лямблиозом; в последующие годы наблюдался рост заболеваемости. Среди заболевших много детей младших возрастов и, несомненно, большая часть случаев лямблиоза связана с контактным (бытовым) путем передачи. Однако на территориях с высокой плотностью населения, с ограниченными водными ресурсами нельзя исключить передачу лямблиоза с питьевой водой в случае загрязнения источника водоснабжения.

Известна роль водного фактора и в распространении некоторых гельминтозов; доказана роль питьевой воды в распространении аскаридоза, гименолепидоза, фасциолеза.

Перечисленные выше болезни имеют фекально-оральный механизм передачи, а водный фактор стоит в одном ряду с пищевым, а в некоторых случаях и с контактно-бытовым. Существуют болезни, заражение которыми может происходить во время купания в водоемах, инфицированных выделениями больных диких животных. В первую очередь это лептоспироз и туляремия. При этих болезнях возбудитель может поступать в организм человека через слизистые оболочки рта, носа, глаз, через незначительные повреждения кожного покрова (ссадины, царапины) и даже через неповрежденную кожу. Аденовирусный конъюнктивит нередко возникает при купании в бассейне.

Возбудители инфекционных болезней относятся к паразитам и не могут развиваться вне организма хозяина (человека или животного). Однако они какое-то время существуют, не размножаясь, во внешней среде обитания. Эти возбудители способны переносить замораживание во льду, зимовать в воде поверхностных водных объектов. Сроки выживания микроорганизмов во внешней среде сильно колеблются в зависимости от вида воды, ее загрязнения химическими веществами, сапрофитной микрофлорой, температуры воды и других факторов. Сальмонеллы, шигеллы сохраняют жизнеспособность в воде до 3 мес, кишечные вирусы - до 4 мес и более; споры сибирской язвы сохраняются во внешней среде 10 лет и более, после чего способны переходить в вегетативную форму.

Знание сроков выживания патогенных микроорганизмов в воде необходимо для профилактики кишечных инфекций и при эпидемиологических расследованиях вспышек и эпидемий.

Так, в Дагестане в июне-октябре 1994 г. возникла эпидемия холеры. Холера была завезена паломниками из Саудовской Аравии, вспышка развивалась контактно-бытовым путем. Несмотря на принятые меры, подавить вспышку не удалось и она приняла характер эпидемии. Это было связано с неудовлетворительным питьевым водоснабжением; во

многих городах и поселках вода для питьевых целей подается без очистки и обеззараживания, а в малых поселениях население использует для питья воду оросительных каналов без очистки. Роль водного фактора подтвердилась тем, что отдельные случаи завоза холеры из Дагестана в другие города России были локализованы.

Эпидемиологическая ситуация по холере неустойчива в текущем десятилетии во всем мире. Специалисты ВОЗ считают возможным дальнейший рост заболеваемости этой инфекцией во многих регионах мира. Ведущая роль в предупреждении эпидемии холеры в этих условиях принадлежит правильной организации питьевого водоснабжения и действенному санитарному надзору за ним.

Непосредственное влияние питьевого водоснабжения на инфекционную заболеваемость населения учесть трудно, так как одновременно с развитием водопроводов улучшаются и другие санитарно-бытовые условия жизни. Однако имеются наблюдения, показывающие, что централизованное водоснабжение может снизить заболеваемость кишечными инфекциями у потребителей воды в 8-12 раз, а прививки против кишечных инфекций снижают заболеваемость привитых всего в 5 раз. Холерная вакцина обеспечивает иммунитет всего у 40- 60% привитых, а обычная обработка и обеззараживание воды на водопроводе полностью исключают возможность «проскока» чувствительного к обеззараживающим агентам холерного вибриона.

Затраты на улучшение питьевого водоснабжения всегда меньше, чем на ликвидацию возникшей эпидемии. В Перу борьба с недавней эпидемией холеры, вызванной загрязненной водой и длившейся 2,5 мес, обошлась в миллиард долларов, что втрое больше суммы, израсходованной на водоснабжение страны за все прошлое десятилетие.

Несомненно, что комплексные мероприятия по профилактике кишечных инфекций как в мировом масштабе, так и в России привели к значительному снижению заболеваемости. Однако в борьбе за существование возбудители кишечных заболеваний постоянно изменяют морфологию, антигенную структуру, биохимические признаки, приспосабливаясь к воздействию дезинфицирующих веществ, находя обходные пути преодоления иммунной защиты человека. Несмотря на удовлетворительную статистику по заболеваемости кишечными инфекциями в отдельных регионах, нельзя ослаблять противоэпидемические барьеры. Это в первую очередь рациональное, т.е. организованное с соблюдением санитарных правил и нормативов, питьевое водоснабжение.

К вспышке кишечных инфекций могут привести бактериальное загрязнение воды источника в зонах санитарной охраны питьевых водопроводов; аварийное состояние головных сооружений водопроводов; нарушение технологии очистки и обеззараживания воды на питьевых водопроводах; неудовлетворительное санитарно-техническое состояние водопроводных и канализационных сетей и смотровых колодцев, приводящее к авариям, подсосу загрязненных грунтовых вод; потребление для питьевых целей воды технических водопроводов.

Акад. С.Н. Черкинский в 1975 г. говорил, что переход на централизованные системы питьевого водоснабжения стал основным профилактическим мероприятием по устранению водного фактора инфекционной заболеваемости населения, но отсутствие эпидемий и снижение заболеваемости нельзя воспринимать как полную ликвидацию водного фактора в распространении кишечных инфекций. Централизованное питьевое водоснабжение, с которым неразрывно связана система санитарно-противоэпидемических мероприятий, не ликвидирует биологически обусловленный механизм передачи, а лишь снижает возможность распространения возбудителей инфекции водным путем. Акад. В.И. Покровский констатировал, что «особую эпидемиологическую тревогу вызывают увеличивающиеся водные вспышки кишечных инфекций». Он говорил об увеличении заболеваемости брюшным тифом, которая до недавнего времени снижалась, о резком возрастании заболеваний иерсиниозом (15 117 случаев в 1994 г.). Актуальной остается заболеваемость гепатитами А и Е с очередным эпидемическим подъемом. Многие вспышки связаны с питьевым водоснабжением из поверхностных источников.

2.3. Влияние химического состава питьевой воды на здоровье и условия жизни населения

Для здоровья немаловажен химический состав питьевой воды. Неблагоприятные эффекты химического фактора могут обнаружиться не сразу, а спустя некоторое, порой достаточно продолжительное время. Причина состоит как в воздействии низких концентраций, не способных вызвать острое отравление, так и в особенностях химической структуры вещества. Оба эти обстоятельства обусловливают хроническое развитие интоксикации.

Воздействие химического агента, присутствующего в питьевой воде, может проявляться не только в непосредственных токсических эффектах, но и в изменении органолептических свойств воды. Выделяют *два признака вредности* вещества, присутствующего в питьевой воде: *санитарно-токсикологический и органолептический.*

Токсическое воздействие химического вещества на организм (процесс интоксикации) определяется химической структурой вещества, его концентрацией и способом поступления в организм (с водой через рот, кожу, слизистые оболочки; с воздухом через легкие, слизистые оболочки, кожу; с пищей через рот, слизистые оболочки) и может быть весьма различным, например замещение одного элемента другим в ферментативных реакциях, подавление или стимуляция гормонов и других биологически активных структур организма, извращение иммунных реакций, повреждение генетического аппарата и пр. Воздействие одного вещества может развиваться по нескольким механизмам одновременно. Так, неблагоприятное влияние повышенного содержания солей проявляется не только в изменении вкуса воды, но и в нарушении функционального состояния желудочно-кишечного тракта, может способствовать образованию камней в мочевой системе.

Токсическое воздействие химических веществ может проявляться не только при поступлении внутрь с питьем, но и путем всасывания через кожу в процессе гигиенических (душ, ванна) или оздоровительных (плавательные бассейны) процедур. Поступление химических ядов через кожу хорошо известно в гигиене труда. Опасность неблагоприятного воздействия воды, содержащей некоторые химические соединения, в бытовых условиях порой выше, чем при контакте с ними в производственных условиях. Этому способствует большая площадь контакта с водой кожных покровов (80-100%), повышенная потенциальная опасность интоксикации у детей (особенно 1-го года жизни) в связи с лучшей способностью кожи к всасыванию и более высокой токсичностью веществ для детского организма.

Для ряда промышленных загрязнений водных объектов предельно допустимые концентрации (ПДК) установлены по возможности интоксикации при чрескожном всасывании. Например, для циодрина (фосфорорганический инсектоакарицид) и полупродукта его производства трифенилфосфина ПДК в воде установлены по способности всасываться через неповрежденную кожу на уровне 0,05 и 0,01 мг/л, тогда как запах этих веществ в воде ощущается при концентрациях гораздо более высоких - 55 и 9 мг/л соответственно.

Многие вещества, поступающие в источник питьевого водоснабжения с промышленными сточными водами, способны вызывать аллергические реакции при контакте воды с кожными покровами человека.

Химический состав природных пресных вод также может представлять токсическую опасность. Наиболее актуальны в этом отношении нитраты, фтор, молибден, мышьяк (см. Приложение).

Под влиянием химических веществ *изменяются органолептические свойства воды,* воспринимаемые органами чувств человека (запах, привкус, цвет, мутность, способность к пенообразованию, пленкообразование). Муть, необычные цвет, запах и привкус воды с глубокой древности служили признаком ее недоброкачественности. Вода

не только с неблагоприятными, но и с необычными органолептическими свойствами вызывает отвращение и представление об опасности для здоровья.

Экспериментально на лабораторных животных и в наблюдениях на добровольцах доказано, что изменение вкуса и запаха питьевой воды влияет на водно-питьевой режим и физиологические функции организма. Могут нарушаться секреторная функция пищеварительных желез и даже острота зрения.

Нельзя не учитывать и эстетическое воздействие неблагоприятных органолептических свойств воды. Ф.Ф. Эрисман писал: «Было бы непростительной ошибкой считать удовлетворение эстетического требования роскошью, так как здесь эстетика и гигиена сливаются настолько, что разделить их положительно не представляется возможным».

Весьма мелкие глинистые частицы, формирующие мутность воды, адсорбируют на своей поверхности кишечные вирусы. Снижение мутности воды способствует эффективности ее обеззараживания.

Химические примеси, содержащиеся в воде, не являясь непосредственной причиной нарушения здоровья, но ухудшая органолептические свойства воды, могут оказывать *косвенное неблагоприятное влияние* на условия жизни. Известны случаи, когда люди, отказываясь от потребления водопроводной воды с неблагоприятными органолептическими свойствами, но безопасной в эпидемиологическом отношении, использовали для питья воду местных ключей и родников. Результатом становились вспышки кишечных инфекций.

Изменение органолептических свойств воды в присутствии загрязняющих веществ интересует гигиениста постольку, поскольку оно вызывает настороженность при ее потреблении. В связи с этим пределы допустимого содержания вещества, влияющего на органолептические свойства воды, определяют только на людях после установления параметров токсичности вещества на лабораторных животных.

Основные механизмы воздействия химических веществ в воде источников питьевого водоснабжения на территории России, их влияние на органолептические свойства воды приведены в Приложении.

Влияние химического состава питьевой воды на здоровье и условия жизни может определяться не только присутствием того или иного вещества, но и комбинациями загрязнений. В силу этого для характеристики питьевой воды используют некоторые комплексные показатели состава воды (взвешенные вещества, минерализация, нефтепродукты) либо показатели, косвенно отражающие ее химический состав (pH, окисляемость и др.), - *обобщенные показатели.*

Взвешенные вещества. Гигиеническое значение взвешенных веществ в питьевой воде не ограничивается их влиянием на органолептические свойства (мутность). Патогенные энтеровирусы под влиянием электростатических сил сорбируются на мелких частицах глины. Кроме того, частицы глины сорбируют ионы растворенных веществ, вступая в ряде случаев с ними в ионообменные реакции. Таким образом, питьевая вода, не удовлетворяющая гигиеническому нормативу по показателю мутности, не может считаться эпидемически безопасной и химически безвредной. Этим объясняются высокие требования к содержанию взвешенных веществ в питьевой воде.

Минеральный состав воды оказывает на здоровье большое и разностороннее влияние. Минерализация характеризуется двумя аналитически определяемыми показателями: сухим остатком (в миллиграммах на литр) и жесткостью (в миллимолях на литр).

Сухой остаток определяется весовым методом после выпаривания пробы воды на водяной бане и высушивания чашки при 105 °С. В процессе обработки из пробы удаляются летучие компоненты и вещества, разлагающиеся с образованием летучих компонентов. Сухой остаток служит ориентиром по содержанию в воде неорганических соединений. С древности и до настоящего времени одним из критериев предельного

содержания солей в воде является изменение ее органолептических свойств (вкуса). Во второй половине XX века пытались установить причинно-следственные связи между сухим остатком питьевой воды и теми или иными расстройствами здоровья населения, длительно потреблявшего эту воду (заболевания сердечно-сосудистой системы, нарушения солевого обмена). Однако доказать существование такой связи не удалось. Вероятно, при одном и том же количестве сухого остатка его состав крайне разнообразен.

Большое значение имеет сухой остаток для вкусового восприятия питьевой воды. По этому показателю стандартного норматива нет, так как оценка вкуса воды субъективна. Для условий центра Европейской части России вода хорошего качества (по вкусу) имеет сухой остаток от 300 до 900 мг/л. На территориях с высокоминерализованными природными водами население благоприятно воспринимает воду с сухим остатком более 1000 мг/л, но у приезжих такая вода может вызвать диарею. Вода с крайне малым сухим остатком также может быть неприемлемой из-за безвкусности.

Признанный гигиенический норматив сухого остатка в питьевой воде составляет не более 1000 мг/л. Сухой остаток 1000 мг/л принят и в различных классификациях вод как граница деления вод на пресные (менее 1000 мг/л) и солоноватые (более 1000 мг/л). Указанный норматив входил во все издания отечественных стандартов качества питьевой воды, он имеется и в действующих Санитарных Правилах и Нормах (СанПиН) «Питьевая вода».

Жесткость воды. Поиск причинно-следственных связей между жесткостью воды (суммарное содержание солей кальция и магния) и сердечно-сосудистой патологией оказался достаточно результативным. В ряде исследований установлена статистически достоверная, хотя и не тесная, обратная корреляционная связь между жесткостью воды и частотой инфаркта миокарда. Однако в других не менее тщательно выполненных исследованиях такой связи не найдено. Видимо, патогенетическим агентом могли быть не сами соли жесткости, а коррелирующие с ними комплексы каких-то других микроэлементов.

Статистическими исследованиями установлено и экспериментально подтверждено влияние жестких вод на частоту мочекаменной болезни. Речь не идет о прямой связи степени жесткости воды и заболеваний мочекаменной болезнью. Решающую роль играют другие сопутствующие факторы, в частности минеральный обмен человека, потребляющего жесткую воду, а высокое содержание в питьевой воде солей кальция и магния является *фактором риска* мочекаменной болезни.

Нефтепродукты. Загрязнение водных объектов нефтью и продуктами ее переработки - одна из глобальных проблем человечества в XX веке. При добыче, транспортировке, переработке и потреблении нефти и нефтепродуктов происходит повсеместное загрязнение всех элементов среды обитания человека. Нефть представляет собой сложную смесь алифатических, ароматических и полициклических углеводородов с весьма различающимися физико-химическими константами (плотность, летучесть, растворимость в воде и пр.). Нефтепродукты могут выпадать в донные осадки, находиться в толще воды в виде эмульсии, растворяться в воде и плавать на ее поверхности в виде пленки. Нефтепродукты изменяют органолептические свойства воды - сообщают ей специфический запах, создают пленку и радужные пятна на поверхности. Токсические свойства углеводородов, входящих в состав нефтепродуктов, не могут проявиться при потреблении питьевой воды, поскольку токсические концентрации компонентов нефти гораздо выше, чем концентрации, при которых человек отказывается от потребления загрязненной воды. Обычные приемы водоподготовки не могут полностью устранить «керосиновый» запах воды, загрязненной нефтепродуктами.

Активная реакция (pH). Колебания pH воды даже за пределами требований СанПиН не могут причинить вреда здоровью из-за буферного резерва воды и соответствующих механизмов гомеостаза в организме. Регламентация pH основана на зависимости от pH растворимости и биологической доступности «главных ионов» воды. При pH в пределах

от 6,0 до 9,0 концентрации «главных ионов» не достигают токсических величин, и эти пределы pH были утверждены как гигиенический норматив питьевой воды. Для воды поверхностного источника питьевого водоснабжения более важным оказался гидробиологический критерий (pH воды поверхностных водных объектов в средней полосе колеблется в пределах от 6,5 до 8,5), поскольку он обеспечивает нормальное существование водного биоценоза и, тем самым, осуществление процессов самоочищения водного объекта. Кроме того, смещение pH за пределы, свойственные воде конкретного источника водоснабжения или предусмотренные технологической картой водообработки, указывает либо на поступление в источник водоснабжения воды другого состава, либо на нарушение технологического режима водоподготовки. Природное значение pH может изменять вымывание различных элементов из донных осадков.

Перманганатная окисляемость. Вода источника питьевого водоснабжения часто содержит органические вещества как природного, так и техногенного происхождения в различных концентрациях. Идентификация этих веществ трудна, да в ней и нет необходимости. Содержание органических веществ устанавливают интегрально, через количество кислорода, потребное для их окисления. В контроле питьевой воды используется метод окисления перманганатом калия в кислой среде с нагреванием - *перманганатная окисляемость.*

Фенольный индекс. Фенольные соединения часто присутствуют в воде поверхностных источников водоснабжения как продукт разложения высших растений, живущих в воде. Фенолы содержатся и в сточных водах предприятий нефтехимической промышленности, черной металлургии и пр. Даже небольшие концентрации фенолов сообщают воде специфический запах. Кроме того, при хлорировании воды, содержащей фенолы даже в концентрациях ниже пороговых по запаху, образуются хлорфенолы - вещества с весьма низким порогом специфического и стойкого «аптечного» запаха. Для оперативного контроля качества питьевой воды определяют *фенольный индекс* - суммарное содержание в воде летучих фенольных соединений. Величина фенольного индекса своя для каждого водного объекта, и по ее динамике наряду с другими показателями можно судить о стабильности состава воды. Повышение фенольного индекса данного водоисточника требует идентификации соединений, которые обусловили его повышение.

ГЛАВА 3 ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

3.1. Гигиенические принципы нормирования качества питьевой воды

Первые научные представления о влиянии качества питьевой воды на здоровье стали складываться в конце XIX века. В 1914 г. в США был создан первый стандарт качества питьевой воды.

Вторым по хронологии в мире и первым в Европе стал принятый в 1937 г. в РСФСР «Временный стандарт качества очистки водопроводно-хозяйственной воды». В последующие годы совершенствовались принципы стандартизации качества питьевой воды, в основу которых было положено влияние воды на здоровье человека.

В 1958 г. ВОЗ издала «Международные стандарты питьевой воды». Первоначальная идея разработки международных стандартов - полная унификация требований к качеству (составу) питьевой воды во всем мире - впоследствии была признана нерациональной, но их издание послужило толчком к разработке в 60-х годах XX века национальных стандартов во многих странах.

В 1987 г. ВОЗ опубликовала трехтомное «Руководство по контролю качества питьевой воды», вышедшее 2-м изданием в 1993 г. В этих изданиях представлена достоверная и полная информация о влиянии состава питьевой воды на здоровье человека для разработки национальных стандартов. Таким образом, информацию о возможных ингредиентах питьевой воды и их безвредных уровнях следует рассматривать как мировую базу данных, но не как масштаб национальных стандартов качества воды. В национальных стандартах эту информацию использовали с учетом региональных особенностей состава воды как природных, так и техногенных источников водоснабжения.

Созданы достоверные, научно обоснованные *нормативы состава* (химического, микробиологического) питьевой воды с позиций безопасности и безвредности для человека, а также регламентированы *порядок и механизм контроля состава* подаваемой населению воды.

С 1996 г. основополагающим среди подзаконных нормативных актов в области питьевого водоснабжения в нашей стране стал

СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (ныне СанПиН 21.4.1074-01).

С выходом «Закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» разработка регламентов качества питьевой воды и порядка его контроля стала компетенцией Федеральной санитарно-эпидемиологической службы.

В основу СанПиН «Питьевая вода» положены следующие принципы. *Принцип гигиенических критериев качества питьевой воды* определяет, что питьевая вода должна быть безопасна в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

Пределы безопасности и безвредности состава питьевой воды устанавливаются на основании медицинских, гигиенических исследований. Нормативы состава питьевой воды учитывают *не те ингредиенты, которые должны в ней присутствовать,* а, наоборот, вещества, присутствие которых в воде нежелательно и допустимо лишь в определенных пределах.

Невозможность создания единого эталона состава питьевой воды обусловлена отсутствием единой модели питьевой воды. Ее химический, бактериальный состав и свойства зависят и от геохимических особенностей источника водоснабжения, и от времени года, и даже от погодных условий. Приведенная в СанПиН совокупность гигиенических нормативов являет собой не эталон качества питьевой воды, а

федеральный банк данных, который используется при создании рабочей программы контроля качества питьевой воды конкретного водопровода.

Принцип регионального подхода к регламентации состава питьевой воды - принятие единых в масштабе страны гигиенических нормативов с индивидуального для каждого конкретного водопровода выбором совокупности контролируемых показателей. Выбор показателей обусловливается региональными природными и антропогенными факторами, определяющими состав воды источника водоснабжения, а, следовательно, могущих присутствовать в питьевой воде. Гигиеническая надежность такого регионального подхода обеспечивается унифицированной методикой создания рабочих программ контроля для каждого водопровода на основе единых государственных (федеральных) нормативов качества питьевой воды, изложенных в СанПиН. Для России с ее громадной территорией, разнообразием санитарных ситуаций, зависящих от региональных природных и социально-экономических условий, региональный подход особенно важен. Он позволяет на каждом водопроводе создать такую рабочую программу контроля, которая будет отражать реальный состав воды этого водопровода.

Таким образом, в СанПиН 2.1.4.1074-01 заложена *одинаковая правовая основа* для всех гигиенических нормативов химических веществ при контроле качества питьевой воды, а *статус контролируемых* в конкретной санитарной ситуации получают те из них, которые вошли в утвержденную рабочую программу.

Такая регламентация позволяет на многих водопроводах, в первую очередь с подземными источниками, вести контроль химического состава воды по весьма ограниченному (но достаточному!) перечню показателей. Большой объем анализов для водопроводов, вынужденных эксплуатировать загрязненные источники, будет обусловлен только плохой экологической обстановкой, а не завышенным объемом требований СанПиН.

Региональные показатели контроля качества питьевой воды позволяют обеспечить целенаправленность капиталовложений и рациональное расходование средств на контроль качества питьевой воды.

Приоритетность микробиологических критериев безопасности перед химическими обусловлена тем, что химическое загрязнение питьевой воды может вызвать нарушение здоровья человека, но популяционный риск химического загрязнения во много раз меньше, чем микробиологического.

Регламентация органолептических свойств питьевой воды имеет целью обеспечение нормальных физиологических функций, а также эпидемической безопасности водоснабжения населения, а не только соблюдение определенных потребительских свойств воды.

Еще раз подчеркнем, что требования СанПиН устанавливают лишь *верхние пределы* содержания в питьевой воде химических веществ или биологических агентов, которые, однако, позволяют выдержать гигиенические критерии ее качества.

Усилия (выбор и охрана источников водоснабжения, реагентная обработка воды и др.), направленные на снижение концентраций веществ, которые не превышают гигиенические нормативы, но потенциально вредны для здоровья, целесообразны, так как позволяют снизить общую техногенную нагрузку на организм. Выбирая методы водоподготовки, нужно бережно относиться к природному макроионному составу воды, который, несомненно, очень важен для здоровья, хотя о его значении известно еще очень мало.

3.2. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения

Более 80% населения страны снабжаются водой из централизованных систем водоснабжения.

Как правило, это жители городов и урбанизированных территорий с плотными застройкой и заселением и соответственно с опасностью распространения эпидемических болезней, в том числе и передающихся через воду. Условия жизни в городах требуют и большего расхода воды на бытовые нужды. Обеспечение населения доброкачественной водой во многом способствует поддержанию санитарно-эпидемиологического благополучия.

Под централизованной системой питьевого водоснабжения понимается комплекс устройств и сооружений для забора, обработки (или без нее), хранения и подачи воды к местам расходования и открытый для общего пользования гражданам и (или) юридическим лицам.

Требования СанПиН 2.1.4.1074-01 применяются в отношении воды, подаваемой централизованными системами водоснабжения и предназначенной для потребления населением в питьевых и бытовых целях, для использования в процессах переработки продовольственного сырья и производства пищевых продуктов, их хранения и продажи, а также для производства продукции, требующей применения воды питьевого качества.

В разделе «Общие положения» сформулирован региональный подход к регламентации качества питьевой воды, учитывающий природные особенности состава воды источника водоснабжения и спектр антропогенных воздействий, характерных для конкретной системы водоснабжения, на основе *единых государственных нормативов* качества воды и *единой методики ее контроля* (п. 3.2 и 3.3).

Организация, осуществляющая эксплуатацию системы водоснабжения, создает *рабочую программу производственного контроля качества воды* по методике, изложенной в обязательном приложении 1 к СанПиН. Рабочая программа согласовывается с Центром госсанэпиднадзора в городе или районе и утверждается соответствующим органом местного самоуправления.

Кроме перечня контролируемых показателей качества воды, частоты их определения, методик измерения, в рабочей программе должен быть указан порядок применения нормативов документа при возникновении аварийных ситуаций (п. 3.5 и 3.6), а также перечислены ситуации, при которых запрещается подача воды населению или ее использование ограничивается (п. 3.6.3, 3.7.1, 3.7.2). В п. 3.7.3 указано, что орган местного самоуправления и Центр госсанэпиднадзора обязаны информировать население о запрещении или ограничении использования питьевой воды, о ее качестве, мероприятиях по ликвидации аварии, а также о рекомендациях по действиям населения в данной ситуации.

Нормативная часть документа начинается с показателей *эпидемической безопасности питьевой воды.* Нормирование основывается на *санитарно-показательных микроорганизмах* (группа кишечной палочки). Это обширное семейство *Enteroba^eriaceae,* в ключающее 4 рода: *Citrobakter, Enterobakter, Klebsiella* и *Escherichia.* Эти микроорганизмы растут на дифференциальной среде Эндо, обладают многими общими культуральными, биохимическими и даже антигенными свойствами и постоянно обитают в кишечнике человека. Санитарно-показательное значение их присутствия в воде неодинаково. Все представители первых 3 родов широко распространены во внешней среде, не загрязненной фекалиями человека или теплокровных животных, и поэтому не могут играть санитарно-показательную роль. Часть эшерихий, поступая во внешнюю среду, теряет некоторые второстепенные диагностические признаки, и их присутствие не всегда говорит о *свежем* фекальном загрязнении.

В СанПиН «Питьевая вода» в качестве основного теста выбрано определение термотолерантных кишечных палочек, наиболее близких по многим признакам к истинной кишечной палочке - *Escherichia coli.*

Термотолерантные кишечные палочки, кроме роста на среде Эндо и ферментации лактозы, способны переносить температуру инкубации 43-44 °С. Присутствие в воде *термотолерантных кишечных палочек* является верным признаком свежего

фекального загрязнения и, следовательно, эпидемической опасности воды. Наряду с термотолерантной кишечной палочкой в СанПиН «Питьевая вода» включено и определение общих кишечных палочек *(Escherichia coli communis,* общие колиформы), также ферментирующих лактозу, но при температуре 37 °С.

Общие колиформы могут находиться в воде, содержащей большое количество органических веществ антропогенного происхождения. Среди этого органического загрязнения весьма вероятно присутствие клебсиелл, кишечных вирусов, яиц гельминтов, цист и ооцист простейших. Есть данные, что общие колиформы могут размножаться на дефектных стенках резервуаров чистой воды, труб распределительной сети при нарушении режимов их эксплуатации, в сальниках центробежных насосов. Такая вода, не имеющая свежего фекального загрязнения, тем не менее не может считаться эпидемический безопасной.

Особенно важен тест на общие колиформы для оценки безопасности воды после хлорирования, когда свежее фекальное загрязнение исключено.

Отсутствие общих колиформ и термотолерантных колиформ, определяемых по лактозному и температурному признакам, в 100 мл питьевой воды является основным критерием эпидемической безопасности воды в нормативных документах многих стран мира.

В распределительной сети крупных централизованных систем питьевого водоснабжения (не менее 100 исследуемых проб за год) допускается 5% нестандартных проб по общим колиформам, но не в двух пробах, последовательно отобранных в одной точке.

Третий показатель эпидемической безопасности воды - общее микробное число (ОМЧ). Под ним понимают число мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, способных образовывать колонии на питательном агаре при температуре 37 °С. Этот показатель используется для контроля эффективности обработки воды на очистных сооружениях водопровода и должен рассматриваться в динамике. Резкое отклонение от постоянно определяемых на конкретном водопроводе уровней ОМЧ даже в пределах нормативного значения (не более 50 в 1 мл) служит сигналом нарушений в технологии водоподготовки. Рост ОМЧ в воде распределительной сети может свидетельствовать о неблагополучном санитарном состоянии сети, способствующем размножению микроорганизмов вследствие накопления органических веществ, или о ее негерметичности, влекущей за собой попадание в питьевую воду загрязненных грунтовых вод. В городе при одновременном неудовлетворительном состоянии канализационной сети возможно поступление в водопроводную сеть бытовых сточных вод, что, несомненно, ухудшает эпидемиологическую ситуацию.

В 60-70-х годах XX века в нашей стране и за рубежом пытались выяснить санитарно-показательное значение кишечной палочки в отношении вирусного загрязнения воды. Установлено, что кишечные вирусы более устойчивы как в природной среде, так и к обеззараживающим средствам, используемым для подготовки питьевой воды, чем кишечная палочка. В качестве санитарного показателя вирусного загрязнения питьевой воды были предложены *колифаги* - вирусы *Escherichia coli,* кишечной палочки, постоянно присутствующие в местах обитания кишечной палочки во внешней среде. Колифаги по биологическому происхождению, размерам, строению, свойствам, механизму репликации наиболее близки к кишечным вирусам, но более устойчивы к факторам окружающей среды, чем патогенные для человека вирусы. Колифаг введен в СанПиН «Питьевая вода» как санитарный показатель вирусного загрязнения. Колифаги не должны обнаруживаться в пробе обработанной питьевой воды объемом 100 мл.

Споры сульфитредуцирующих клостридий существуют в воде дольше, чем другие санитарно-показательные микроорганизмы, и высокоустойчивы к обеззараживающим агентам. Клостридии служат косвенным показателем освобождения воды в процессе ее очистки (фильтрации) от устойчивых к обеззараживанию кишечных вирусов и

паразитарных простейших. Споры сульфитредуцирующих клостридий определяют в воде резервуаров чистой воды для оценки эффективности обработки воды. Определение сульфитредуцирующих клостридий в воде распределительных сетей водопровода нецелесообразно.

Для контроля питьевой воды, подготовленной из воды поверхностного источника, в СанПиН введен показатель безопасности воды в паразитарном отношении - цисты лямблий. За норматив принимается отсутствие их в пробе воды объемом 50 л при прямом микроскопировании после фильтрации через мембранный фильтр.

В п. 4.3.1-4.3.3 СанПиН 2.1.4.1074-01 изложены действия, которые необходимо предпринять при несоответствии микробиологических показателей качества питьевой воды установленным требованиям. В этих случаях по решению органов санитарно-эпидемиологического надзора проводятся исследования на присутствие в воде патогенных бактерий кишечной группы и кишечных вирусов. Производственная бактериологическая лаборатория водопровода не вправе проводить такие исследования. Для этих целей привлекают лаборатории, имеющие разрешение на работу с возбудителями соответствующей группы патогенности и лицензию на выполнение этих работ. Поиск возбудителя определяется конкретной эпидемиологической ситуацией.

Показатели безопасности химического состава питьевой воды даны в СанПиН в табл. 2 и 3 и Приложении 2. Необходимо подчеркнуть равное значение для здоровья и условий жизни человека и равное правовое положение всех показателей, помещенных в любой таблице. Деление по таблицам сделано с целью подчеркнуть логику составления рабочей программы контроля питьевой воды, а не из-за разной значимости показателей.

В табл. 2 СанПиН выделены химические вещества, вероятность присутствия которых в питьевой воде водопроводов страны наибольшая. Это природные ингредиенты, наиболее характерные для вод России (алюминий, барий, бериллий, бор, железо, марганец, медь, молибден, мышьяк, нитраты, свинец, селен, стронций, цинк, сульфаты, фториды и хлориды), а также наиболее опасные антропогенные загрязнения (кадмий, ртуть, никель, хром, цианиды, а также органические соединения - линдан, ДДТ и 2,4Д). Эти показатели обязательно определяются в процессе расширенных исследований, а в рабочую программу включают лишь свойственные источнику водоснабжения данного водопровода по результатам расширенных исследований. В табл. 2 сведены и так называемые *обобщенные показатели* химического состава воды (pH, общая минерализация, жесткость, перманганатная окисляемость, содержание нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ - ПАВ и фенольный индекс). Эти показатели должны включаться в рабочую программу производственного контроля каждого водопровода. При контроле работы водопровода они играют двоякую роль. С одной стороны, это гигиенический норматив, с другой - это показатели стабильности состава исходной воды (у каждого источника есть свой диапазон колебаний этих показателей) и работы очистных сооружений. Важны не только абсолютные значения, но и их изменение во времени. При изменении обычного уровня колебаний обобщенных показателей нужно искать причины и принимать меры к стабилизации.

В Приложении 2 к СанПиН даны показатели безопасности химического состава воды для веществ, присутствие которых обусловлено антропогенным загрязнением источника водоснабжения. Этот список включает нормативы более чем для 1000 ингредиентов воды. На стадии расширенных исследований по методике, изложенной в Приложении 1 к СанПиН, выбирают показатели, характерные для конкретного водопровода. В дальнейшем актуальные для конкретного водопровода ингредиенты включаются в рабочую программу и подлежат систематическому контролю.

В табл. 3 приведены нормативы остаточных количеств наиболее часто применяемых в водоподготовке реагентов и продуктов их трансформации. В рабочую программу включаются те из них, которые используются на данном водопроводе.

Учет комбинированного действия веществ с одинаковым лимитирующим признаком вредности (п. 4.4.4) ограничен только химическими соединениями, относящимися к 1-му и 2-му классам опасности.

Радиационная безопасность воды оценивается по суммарной альфа- и бета-активности (табл. 5 СанПиН). При превышении нормативов общей активности питьевой воды необходимо определить радионуклиды и измерить их индивидуальные уровни радиоактивности. Радиационно-гигиеническая оценка обнаруженных концентраций проводится в соответствии с ГН 2.6.1.054-99 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99).

Органолептические свойства питьевой воды контролируются в СанПиН «Питьевая вода» показателями «запах» и «привкус» - не более 2 баллов (потребителем воды не ощущается). Цветность, под которой понимают окрашенность воды природными гуминовыми соединениями, нормируется на уровне 20 градусов (условных единиц имитационной платиново-кобальтовой шкалы). Такая цветность не воспринимается потребителем воды при толщине слоя воды 20 см (обычный слой воды в кастрюле, графине и т.п.).

Особенно ответственным является показатель мутности, отражающий содержание тонкодисперсных взвешенных веществ и снижающий прозрачность воды. На глинистых частицах, обусловливающих мутность воды, как указывалось в главе 2, сорбирована основная масса вирусов. Снижение мутности фильтрованной воды способствует ее обеззараживанию. Таким образом, показатель мутности воды является не только одним из показателей органолептических свойств, но и косвенным показателем эпидемической безопасности воды.

В разделе 5 СанПиН определен порядок производственного контроля и государственного санитарно-эпидемиологического надзора за качеством питьевой воды.

3.3. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованных систем питьевого водоснабжения

Около трети населения России, по официальным данным, использует для питьевых и бытовых целей воду колодцев, родников и других источников *нецентрализованного питьевого водоснабжения.*

Под нецентрализованной системой питьевого водоснабжения следует понимать устройства и сооружения (колодец, скважина, каптаж и др.) для забора воды без ее подачи к местам расходования и открытые для общего пользования гражданам и юридическим лицам.

Нецентрализованная система водоснабжения не имеет распределительной водопроводной сети; доставку воды к месту ее хранения и потребления осуществляет потребитель. Открытость нецентрализованной системы для общего пользования налагает на государственную санитарно-эпидемиологическую службу обязанность надзора за состоянием водозаборных сооружений и качеством воды.

Как правило, в нецентрализованных системах используются грунтовые воды, не защищенные от поверхностного загрязнения и не подвергающиеся обработке. В связи с этим при выборе места водозабора необходимо обращать особое внимание на санитарное состояние окружающей территории, а при эксплуатации водозабора - на защиту территории от загрязнения.

Вторая особенность систем нецентрализованного водоснабжения заключается в том, что каждым водозаборным сооружением пользуется ограниченное количество населения, проживающего в непосредственной близости от водозабора. Это население имеет постоянные бытовые контакты между собой, что обуславливает общность окружающих микробиоценозов и наличие у людей достаточных иммунных механизмов для бесконфликтного сосуществования с ними. Поэтому среди населения, пользующегося колодцем, не возникают кишечные инфекции, даже в случае более высокого загрязнения

его воды кишечной микрофлорой. Однако, появление в данной местности контингентов мигрантов (туристы, отряды для уборки урожая, временные переселенцы и пр.) может привести к возникновению вспышек кишечных инфекций.

Качество воды источников нецентрализованного питьевого водоснабжения регламентируется СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников» (табл. 3.1).

Как видно из табл. 3.1, большое внимание уделяется органолептическим свойствам воды. Отдельно выделен показатель «Нитраты» как наиболее вероятный в сельских условиях в результате загрязнения почвы навозом или азотными удобрениями. Кроме того, есть указание о содержании любых химических веществ на уровне, не превышающем гигиенические нормативы (ПДК). Перечень веществ, подлежащих контролю, должен устанавливаться для каждого источника водоснабжения, исходя из местных условий и по результатам санитарного обследования при выборе места водозабора.

Таблица 3.1. Санитарные требования к качеству воды источников нецентрализованного питьевого водоснабжения

Показатели	Единицы измерения	Норматив
Органолептические		
Запах Баллы		Не более 3
Привкус	Баллы	Не более 3
Цветность	Градусы	Не более 30
Мутность	ЕМФ (единицы мутности): по формазину по каолину	2,6-3,5 1,5-2,0
Химические		
Водородный показатель	pH	6,0 - 9,0
Жесткость общая	мг-экв/л	7 (10)
Сухой остаток	мг/л	1000 (1500)
Окисляемость перманганатная	мг О/л	Не более 7
Нитраты ($N0_3$)	мг/л	Не более 45
Сульфаты (SO_4)	мг/л	Не более 500
Хлориды (Cl^-)	мг/л	Не более 350
Химические вещества неорганической и органической природы	мг/л	Не более ПДК
Микробиологические		
Термотолерантные колиформные бактерии	КОЕ в 100 мл	Отсутствие
Общие колиформные бактерии	КОЕ в 100 мл	Отсутствие
Колифаги	БОЕ в 100 мл	Отсутствие
ОМЧ	КОЕ в 1 мл	Не более 100

Набор показателей эпидемической безопасности почти совпадает с таковым в СанПиН «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения». Необходимости во введении показателя «сульфитредуцирующие клостридии» нет из-за отсутствия очистных сооружений; гигиеническое значение показателя ОМЧ объяснено выше.

В современных условиях много водозаборных сооружений принадлежит гражданам на праве частной собственности. Это так называемые *автономные системы.*

Автономная система питьевого водоснабжения - устройства и сооружения для забора и подготовки (или без нее) воды с подачей (или без нее) к месту расходования, находящиеся в индивидуальном пользовании (для отдельного дома, фермерского хозяйства, дачного участка или иного отдельного объекта) и закрытые для пользования иными лицами.

Поддержание должного технического и санитарного состояния водозаборных и иных сооружений, а также контроль качества воды в таких системах являются делом владельца автономной системы.

3.4. Нормирование качества питьевой воды за рубежом

Принятый в США в 1914 г. *стандарт качества питьевой воды* не был государственным стандартом; он действовал на уровне отдельных штатов и использовался для урегулирования коммерческих отношений между штатами в области водоснабжения населения. Первый федеральный з*акон о безопасности питьевой воды* был опубликован в 1974 г. Этим законом обязанность устанавливать нормативы, регулирующие чистоту и безопасность питьевой воды, возлагалась на Агентство охраны окружающей среды. Хотя стандарты качества питьевой воды должны утверждаться в каждом штате, Агентство охраны окружающей среды получило право вмешиваться, если стандарты какого-либо штата окажутся менее строгими, чем федеральные, или контроль за их соблюдением будет недостаточным. В 1975 г. общенациональные стандарты качества питьевой воды были опубликованы и затем несколько раз пересматривались. К 1995 г. в них содержалось 10 нормативов (предельно допустимый уровень) для неорганических веществ, 6 нормативов для сельскохозяйственных пестицидов; содержание тригалометанов нормировалось суммарно на уровне 0,10 мг/л. Для веществ и показателей качества, отражающих органолептические свойства воды, федеральные стандарты были не обязательными, а рекомендательными. Максимально допустимые уровни в стандартах США для большинства веществ совпадают с российскими ПДК, для ряда веществ (свинец, ртуть, барий) российские нормативы более жесткие. В 1986 г. Конгресс США при очередном пересмотре «Закона о безопасности питьевой воды» обязал Агентство охраны окружающей среды разработать нормативы еще для 60 веществ, главным образом для синтетических органических соединений.

Эпидемиологическая безопасность питьевой воды контролируется в США по содержанию санитарно-показательных микроорганизмов; нормативы те, что рекомендованы ВОЗ, как и в России.

В законодательстве Европейского союза вопросам питьевого водоснабжения посвящено несколько постановлений, среди которых Директива Совета ЕС 98/83 от 03.11.98 о требованиях к составу и качеству *воды, предназначенной для потребления человеком* и для производства пищевых продуктов. Нормативная база этого документа основана на рекомендациях ВОЗ 1994 г. Принципиальных различий в величинах нормативов с российскими нет.

Требования к источникам питьевого водоснабжения изложены в Постановлении ЕС 75/440 от 16.06.75, которым источники питьевого водоснабжения подразделяются на 3 класса в зависимости от состава воды и требуемых способов подготовки из нее питьевой воды. На основе указанных директив в странах Европейского сообщества разработаны национальные правовые акты - декреты (законы), директивы, постановления.

Во Франции вопросы питьевого водоснабжения регламентируются государственным декретом (последнее издание 2000 г.), в котором содержатся нормативы качества воды для потребления человеком, требования к источнику питьевого водоснабжения, а также определены юридические процедуры проведения в жизнь этих нормативов и требований. На основании государственного декрета в департаментах (муниципалитетах) разрабатываются региональные правовые акты по питьевому водоснабжению. Решающая роль в установлении *региональных требований* к обеспечению безопасного для здоровья

питьевого водоснабжения принадлежит департаментскому (муниципальному) Совету общественной гигиены, а в части использования подземных вод и организации зон санитарной охраны - также гидрогеологической службе. Утвержденные префектом департамента рекомендации упомянутых учреждений обязательны для исполнения владельцами всех централизованных систем питьевого водоснабжения независимо от форм собственности.

В Германии требования к качеству воды, предназначенной для потребления человеком, изложены в нескольких государственных директивах (постановлениях). Постановление о качестве воды для потребления человеком и воды, используемой при производстве пищевых продуктов (1990), разработано на основе рекомендаций ВОЗ.

Постановление, в котором изложены требования к источникам питьевого водоснабжения, предусматривает деление источников на 3 класса в зависимости от состава воды и сложности водоподготовки.

В странах Восточной Европы (Венгрия, Болгария, Чехия, Словакия) государственные стандарты качества питьевой воды были разработаны в 60-70-х годах XX века на основе ГОСТа СССР «Вода питьевая». Современные редакции этих документов основаны на упоминавшейся Директиве Совета ЕС 1998 г.

ГЛАВА 4. ИСТОЧНИКИ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

4.1. Водные объекты, которые могут быть использованы в качестве источников питьевого водоснабжения. Сравнительная гигиеническая характеристика

Качество питьевой воды во многом определяется качеством воды источника водоснабжения. При неудовлетворительном природном составе воды или большом антропогенном загрязнении источника даже современные методы водоподготовки не могут гарантировать получение воды необходимого качества. Важнейшими гигиеническими характеристиками источника водоснабжения являются качество воды, подверженность влиянию природных и социальных (техногенных) факторов и степень санитарной надежности источника, т.е. устойчивость к влиянию природных и антропогенных факторов. Кроме того, большое значение для характеристики источника имеют его водообильность, соотнесенная с предполагаемыми потребностями в воде, а также доступность источника.

Санитарная надежность источника централизованного питьевого водоснабжения - способность источника сохранять постоянство качества его воды и достаточность дебита для обеспечения проектируемой или эксплуатируемой системы централизованного питьевого водоснабжения.

Источниками воды для систем питьевого водоснабжения могут быть поверхностные водные объекты (реки, озера, водохранилища) и запасы подземных вод (грунтовые, межпластовые напорные и безнапорные воды). В некоторых случаях можно использовать искусственные водотоки - каналы судоходного или ирригационного назначения.

Использование тех и других источников в странах и регионах значительно различается. Главная причина этого - наличие или отсутствие природных месторождений подземных вод, так как разведка и добыча подземной воды в настоящее время технически достаточно совершенны.

Подземные источники. Пресные подземные воды, пригодные для питьевого водоснабжения, залегают на глубине не более 250-300 м. По условиям залегания различают *грунтовые* и *межпластовые воды,* значительно разнящиеся по гигиеническим характеристикам.

Грунтовые воды - воды первого от поверхности земли постоянно существующего водоносного горизонта. Они не имеют защиты от поверхностного загрязнения в виде водоупорных слоев; область питания грунтовых вод совпадает с областью их распространения. Весьма непостоянный режим грунтовых вод целиком зависит от гидрометеорологических факторов - частоты выпадения и обилия осадков. Вследствие этого имеются значительные сезонные колебания уровня стояния, дебита, химического и бактериального состава грунтовых вод. Их запас пополняется за счет инфильтрации атмосферных осадков либо воды рек и водохранилищ в периоды высокого уровня; не исключена возможность поступления в грунтовые воды подземных безнапорных вод из более глубоких горизонтов. В процессе инфильтрации вода в значительной мере освобождается от органического и бактериального загрязнения, улучшаются ее органолептические свойства. Однако если почвенный слой тонок и, кроме того, загрязнен, возможно загрязнение грунтовых вод в период формирования.

Дебит грунтовых вод обычно невелик, что наряду с непостоянством состава ограничивает их применение для централизованного водоснабжения. Грунтовые воды используются главным образом в сельской или дачной местности при организации колодезного (нецентрализованного) водоснабжения.

Межпластовые подземные воды залегают в водоносном слое между двумя водоупорными слоями и в зависимости от условий залегания могут быть напорными или безнапорными (рис. 4.1). В каждом межпластовом водоносном горизонте различают

область питания, где горизонт выходит на поверхность, область напора и область разгрузки, где вода изливается на поверхность земли или дно реки, озера в виде восходящих или нисходящих ключей. Межпластовые воды добывают через буровые скважины. Качество воды скважины во многом определяется ее расстоянием от границы области питания и характера (мощности и монолитности) водоупорной кровли водоносного горизонта, на который она пробурена.

Химический состав подземных вод формируется под влиянием химических (растворение, выщелачивание, сорбция, ионный обмен, образование осадка) и физико-химических (перенос веществ фильтрующих пород, растворение, поглощение и выделение газов) процессов.

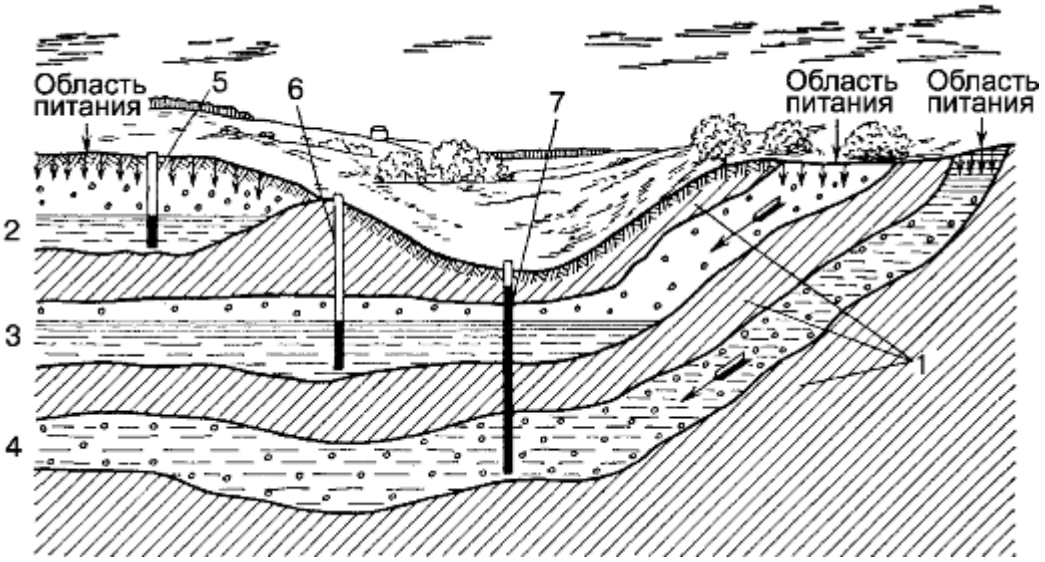


Рис. 4.1. Залегание подземных вод.

1 - водоупорные слои; 2 - горизонт грунтовых вод; 3 - горизонт межпластовых безнапорных вод; 4 - горизонт межпластовых напорных вод; 5 - колодец, питающийся грунтовой водой; 6 - скважина, питающаяся из межпластового безнапорного горизонта; 7 - скважина, питающаяся из межпластового напорного (артезианского) горизонта.

В подземных водах найдено около 70 химических элементов. Наибольшее значение для питьевого водоснабжения имеют фтор, железо, марганец и соли жесткости (сульфаты, карбонаты и бикарбонаты магния и кальция). Реже встречаются бром, бор, бериллий, селен, стронций.

В межпластовых водах нет растворенного кислорода, но микробиологические процессы существенно влияют на их состав. Серобактерии окисляют сероводород и серу до серной кислоты, железобактерии образуют конкреции железа и марганца, которые частично растворяются в воде; некоторые виды бактерий способны восстанавливать нитраты с образованием азота и аммиака.

Чем дальше отстоит место водозабора (буровая скважина) от границы области питания или разгрузки и чем лучше защита от проникновения вышележащих вод, тем характернее и постояннее химический состав межпластовых вод. *Постоянство солевого состава* воды -важнейший признак санитарной надежности водоносного горизонта.

Наряду с природными факторами на формирование состава подземных вод влияют и искусственные факторы среды. При нерациональной эксплуатации горизонта, отборе воды, превышающем его водообильность, возможно поступление воды из других, выше- и нижележащих горизонтов с изменением уровня минерализации. В некоторых случаях возможно и бактериальное загрязнение воды.

Одной из причин загрязнения подземных вод являются промышленные сточные воды, которые инфильтрируются из накопителей, хвосто- и шламохранилищ, золоотвалов и т.п. при их неудовлетворительной гидроизоляции. Возможна инфильтрация

промышленных загрязнений и с полей фильтрации, которые до недавнего времени использовались для обезвреживания промышленных сточных вод. Проникновению сточных вод через водоупорные горизонты способствуют поверхностно-активные вещества, присутствующие в большинстве промышленных сточных вод.

Межпластовые воды вследствие защищенности от поверхностного загрязнения, постоянства состава и достаточно большого дебита высоко оцениваются с санитарной точки зрения и при выборе источника питьевого водоснабжения имеют преимущество перед другими источниками. Весьма часто межпластовые воды можно использовать для питьевых целей без предварительной обработки. Единственным принципиальным ограничением их выбора в качестве источника питьевого водоснабжения является недостаточная водообильность горизонта по сравнению с намечаемой мощностью водопровода.

При эксплуатации водозаборной скважины в определенной части водоносного горизонта вокруг ее ствола в результате присасывающего действия водоподъемных устройств развивается зона пониженного давления воды. Степень понижения зависит от мощности водоподъемника, высоты давления в горизонте до его эксплуатации и водообильности горизонта.

Понижение давления наиболее выражено вокруг скважины, оно постепенно ослабевает по мере удаления от нее. Объем водоносной породы, на котором сказывается присасывающее влияние водоподъемника, называется воронкой депрессии (рис. 4.2). Изменяя гидрогеологические условия в водоносном горизонте, воронка депрессии снижает его санитарную надежность.

Непрерывно растущее водопотребление требует развития существующих водозаборов. Одним из эффективных и сравнительно дешевых способов увеличения мощности береговых инфильтрационных водозаборов является *искусственное восполнение подземных вод* путем устройства на берегу реки или водохранилища инфильтрационных бассейнов, в которые закачивается речная вода и инфильтрируется через горные породы в водоносный горизонт, обогащая его (рис. 4.3). Реже искусственно восполняют подземные воды глубоких горизонтов через скважины.

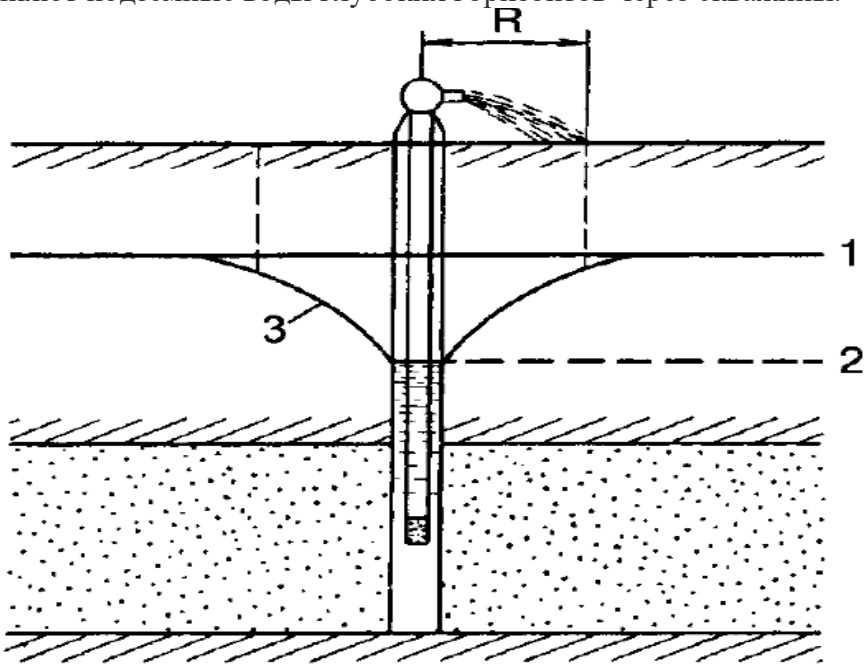


Рис. 4.2. Воронка депрессии и граница 1 пояса зоны санитарной охраны водозаборной скважины. 1 - статический уровень воды; 2 - динамический уровень воды; 3 - кривая депрессии; R - радиус 1 пояса зоны санитарной охраны.

Гигиенические требования при искусственном восполнении подземных вод заключаются в организации зоны санитарной охраны поверхностного водного объекта, из

которого производится восполнение, в предварительной очистке воды перед подачей в инфильтрационные бассейны путем отстаивания и фильтрации, а также в обеззараживании перед подачей потребителю. Расстояние от инфильтрационных бассейнов до фронта водозабора при водоносном пласте из мелких песков должно быть не менее 50 м, для средних и крупных песков и галечников - 100-200 м.

Индустриализация и урбанизация приводят к значительному росту водопотребления. Запасы подземных вод часто не в состоянии обеспечить потребности в воде, и возникает необходимость организации питьевого водоснабжения из поверхностных источников.

Поверхностные источники. Воды поверхностных источников питьевого водоснабжения имеют низкую минерализацию, большое количество взвешенных веществ, высокое микробное загрязнение. Расход воды меняется в зависимости от времени года и метеорологических условий. Активная реакция воды большинства поверхностных источников находится в диапазоне pH 6,5-8,5.

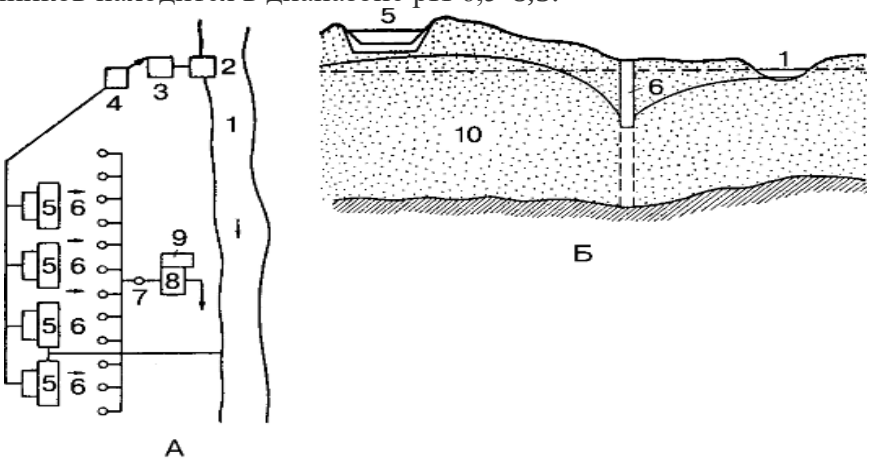


Рис. 4.3. Система искусственного восполнения подземных вод открытого типа из поверхностных вод с инфильтрационными бассейнами и береговой инфильтрацией.

А - план; Б - вертикальный разрез; 1 - река; 2 - водозабор из поверхностных вод; 3 - насосная станция 1 подъема; 4 - сооружения для предварительного улучшения качества речной воды; 5 - инфильтрационные бассейны; 6 - скважины водозабора; 7 - регулирующий резервуар; 8 - насосная станция 2-го подъема; 9 - очистные сооружения с хлорированием; 10 - водоносный горизонт.

Часто отмечается интенсивное техногенное загрязнение поверхностных вод в результате сброса промышленных стоков, судоходства и от других причин. К указанным неблагоприятным свойствам воды в водохранилищах добавляется чрезмерное развитие одноклеточных водорослей - так называемое цветение, способное в значительной мере ухудшить органолептические свойства воды и придать ей аллергенные свойства. Отмеченные особенности состава и свойств воды поверхностных источников не позволяют использовать ее для питьевого водоснабжения в природном виде и требуют предварительной обработки с целью осветления и обеззараживания.

Большое значение для надежной эксплуатации питьевого водопровода имеет выбор места расположения водозабора на водохранилище. В приплотинной и центральной частях водохранилища в связи с обилием воды создаются условия для стабилизации ее качества. Менее благоприятные условия складываются в хвостовой части водохранилища, где есть сезонные колебания объема и уровня воды. При этом резко изменяются условия разбавления сточных вод, сбрасываемых на прилежащие участки береговой полосы, и снижается качество воды водохранилища. В каскаде водохранилищ при уменьшении или временном прекращении попуска воды через вышерасположенный гидроузел в хвостовой части образуются обратные течения, также нарушающие разбавление и смешивание сточных вод.

4.2. Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения

Источники водоснабжения находятся под постоянным воздействием различных природных и антропогенных факторов. На них влияют метеорологические явления, условия формирования источника, наличие и выраженность неблагоприятных антропогенных факторов. Работа водопровода тем надежнее, чем более постоянен состав воды источника. Техническая эффективность сооружений по обработке и обеззараживанию водопроводной воды, кроме чисто технологических факторов, в большой мере зависит от качества исходной воды.

С целью предотвращения эпизодического, периодического или систематического действия факторов, снижающих качество воды источника питьевого водоснабжения, повышения его санитарной надежности, организуются *ЗСО источников питьевого водоснабжения.*

Под ЗСО источника питьевого водоснабжения понимают специально выделенные территорию и акваторию, в которых устанавливаются специальные режимы хозяйственной и иной деятельности в целях охраны источника и водопроводных сооружений от загрязнения.

Специальный режим хозяйственной деятельности в ЗСО поверхностных источников направлен на *ограничение,* а в ЗСО подземных - на *исключение* возможности загрязнения или снижения качества воды источника в месте водозабора или уменьшения их дебита. Кроме того, в 1-м поясе ЗСО водозаборные и очистные сооружения водопровода защищены от преднамеренных или случайных действий, в результате которых может быть нарушена их работа.

Вопросы организации и режима ЗСО регламентируются СанПиН «Зоны санитарной охраны источников централизованного водоснабжения и водопроводов питьевого водоснабжения».

В соответствии с этим документом ЗСО источников питьевого водоснабжения устанавливаются в составе 3 поясов.

1-й пояс ЗСО (пояс строгого режима). Территория 1-го пояса ЗСО *поверхностного источника* состоит из водной части, окружающей водозаборные сооружения, и береговой части, примыкающей к водной. На береговой части 1-го пояса размещаются головные сооружения водопровода в непосредственной близости к водозабору. Минимальное удаление береговой границы 1-го пояса от уреза воды составляет 100 м. В зависимости от особенностей источника в пределы водной части 1-го пояса включается большая или меньшая часть его акватории. Для источников водоснабжения на проточных водных объектах ее границы должны быть вверх по течению не менее 200 м, вниз - не менее 100 м. Боковая граница, т.е. граница в направлении к противоположному от водозабора берегу, составляет не менее 100 м от линии уреза воды в меженный период. При ширине водотока менее 100 м в состав 1-го пояса включаются вся акватория и береговая полоса на противоположном берегу шириной 50 м, для непроточных водоемов - акватория радиусом не менее 100 м от водозабора. Необходимо подчеркнуть, что правила устанавливают минимальные размеры ЗСО 1-го пояса; при наличии непосредственно за границей 1-го пояса массивного очага загрязнения источника территория очага должна быть включена в границы 1-го пояса и источник загрязнения ликвидирован. Территория 1-го пояса должна быть достаточна для размещения всех сооружений водопровода с учетом перспективы его развития.

Минимальные размеры 1-го пояса ЗСО *подземного источника* водоснабжения должны охватывать территорию, соответствующую наиболее крутой части воронки депрессии (см. рис. 4.2), где создаются реальные возможности для проникновения загрязненных вод с поверхности земли через дефекты в горных породах, связанные с бурением скважины. Территория на поверхности земли, соответствующая границе воронки депрессии, в наибольшей мере может создавать загрязнение подземных вод. Для безнапорных горизонтов это территория радиусом 50 м, для межпластовых напорных - 30 м. При искусственном восполнении подземных вод граница 1-го пояса должна

устанавливаться так же, как для недостаточно защищенного источника водоснабжения, - на расстоянии не менее 50 м от водозабора и не менее 10 м от инфильтрационных сооружений.

Территория 1-го пояса ЗСО должна быть ограждена, на нее не допускаются посторонние лица, там запрещается строительство любых объектов, не связанных с нуждами водопровода. При необходимости устройства на территории 1-го пояса выгребных уборных они должны быть оборудованы водонепроницаемыми выгребами. Территорию нужно содержать в чистоте, своевременно вывозить отходы.

На территории и акватории 1-го пояса ЗСО поверхностных источников водоснабжения запрещаются рыбная ловля, купание, стирка белья, не допускается катание на лодках.

Назначение 2-го и 3-го поясов ЗСО (зона ограничения) различно для подземных и поверхностных источников.

Основной задачей 2-го и 3-го поясов ЗСО поверхностного источника является ограничение микробного загрязнения в створе водозабора до степени, требуемой ГОСТом «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения», с учетом возможностей очистных сооружений данного водопровода. Верхние границы этих поясов устанавливают с учетом закономерностей отмирания поступившей со сточными водами микрофлоры. Этот процесс имеет экспоненциальный характер и может быть выражен уравнением:

$$N_t = N_0 \cdot 10^{-kt},$$

где N_0 - концентрация бактерий в месте загрязнения воды; N_t - концентрация бактерий по истечении времени t; k - константа скорости отмирания бактерий.

Преобразование формулы дает следующее выражение:

$$t = \frac{1}{k} \cdot \lg \frac{N_0}{N_t}.$$

Допустимая концентрация бактерий у места водозабора (N_t) задается, исходя из способности очистных сооружений конкретного водопровода довести ее до уровня требований к питьевой воде. Таким образом, *время отмирания бактерий до заданной концентрации зависит от их исходной концентрации и константы скорости отмирания.* Последняя величина обусловлена климатическим районом, в котором расположен водный объект, и временем года. Точных величин констант скорости отмирания нет, но эмпирически установлена средняя величина снижения концентрации санитарно-показательных микроорганизмов для второго (умеренного) климатического района, составляющая 2% в 1 ч летом. При этом практически полная элиминация исходной микрофлоры произойдет за 2 сут (48 ч).

Поскольку в течение 1-х суток после сброса сточных вод концентрация бактерий повышается в результате раздробления комочков взвеси, общая длительность движения воды для практически полного отмирания исходной микрофлоры во втором климатическом районе летом должна быть не менее 3 сут. Зимой отмирание микрофлоры происходит медленнее, поэтому верхняя граница ЗСО поверхностного источника устанавливается на расстоянии, определяемом пробегом воды в первом и втором климатических районах в течение 5 сут, в третьем - в течение 3 сут. Если при этом за пределами 2-го и 3-го поясов ЗСО непосредственно у их границ оказываются крупные постоянные источники бактериального загрязнения, они должны быть включены в территорию зоны с проведением соответствующих оздоровительных мероприятий.

В Европейской части России размер 2-го пояса ЗСО вверх по течению составляет примерно 30-60 км для рек средней и большой мощности. На малых реках с расходом воды до 10 $м^3/с$ в ЗСО должна включаться вся территория бассейна.

Граница 2-го пояса ЗСО проточного источника ниже по течению из-за возможности влияния так называемых нагонных ветров, приводящих к обратному течению воды, должна устанавливаться на расстоянии не менее 250 м от водозабора.

Боковые границы 2-го пояса ЗСО поверхностных проточного и непроточного источников определяются береговой полосой, ширина которой при равнинном рельефе местности от 500 до 1000 м, а при гористом - до вершины первого склона. Боковые границы 3-го пояса ЗСО устанавливаются в пределах 3-5 км от уреза воды или по линии водораздела.

На непроточных водоемах граница 2-го пояса ЗСО *по акватории* должна быть удалена во все стороны от водозабора на расстояние от 3 до 5 км в зависимости от местных гидрологических условий; 3-й пояс ЗСО по акватории непроточного источника не организуется.

Мероприятия во 2-м и 3-м поясах ЗСО поверхностного источника направлены на *регулирование всех видов строительства и хозяйственной деятельности.*

Регулирование застройки на территории 2-го пояса ЗСО должно быть направлено на сохранение природного ландшафта и постепенную его замену лесным с обязательным учетом климатических, погодных, орографических и почвенных условий. Смысл этих мероприятий - перевод поверхностного стока в подземный, что позволяет предотвратить поступление в акваторию источника водоснабжения большой части загрязнений, приносимых поверхностным стоком.

При регулировании застройки следует нормировать плотность заселения (чел/га), плотность застройки (%) и плотность твердых дорожных покрытий (%). Нормативы перечисленных показателей определяют с учетом орографических и ландшафтных условий *(региональные экологические нормативы)* на основе районирования территории ЗСО по указанным природным критериям.

Запретительные мероприятия должны быть направлены на недопущение на территории 2-го пояса ЗСО концентрированных очагов загрязнения почвы, атмосферного воздуха и воды, а также объектов, значительно нарушающих геологическую среду, изменяющих режим поверхностного и подземного стока, и на сокращение использования водного объекта населением для бытовых целей (стирка белья, мытье автомашин, водопой скота и т.п.). Нужно контролировать изменения технологических процессов на предприятиях, расположенных на территории зоны, поскольку возможны повышение опасности и увеличение количества сточных вод.

Сточные воды можно сбрасывать только в полном соответствии с водно-санитарным законодательством по охране водных объектов. СанПиН «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» допускают сброс в акваторию ЗСО сточных вод лишь при условии полного соответствия их состава нормативам качества воды 1-й категории водопользования. При технико-экономическом обосновании невозможности должного обезвреживания сточных вод объекта, расположенного на территории 2-го пояса ЗСО, необходимо принимать меры по их сбросу ниже по течению от питьевого водозабора либо по переброске таких вод за границу водораздела источника водоснабжения.

Обязательному регулированию в акватории 2-го пояса ЗСО подлежит судоходство. Все суда, проходящие по акватории зоны, должны быть оборудованы сборниками фановых и хозяйственно-бытовых вод с их выгрузкой на специальные береговые насосные станции.

Для своевременного обнаружения снижения качества воды в источнике водоснабжения и обоснования требований по поддержанию должного санитарного состояния организация, эксплуатирующая водопровод, проводит систематическое наблюдение за акваторией и территорией 2-го и 3-го поясов ЗСО, а также динамические лабораторные анализы воды (мониторинг).

Состояние 2-го и 3-го поясов ЗСО подземных источников питьевого водоснабжения должно обеспечить сохранение постоянства природного состава воды в водозаборе,

которая, как правило, непосредственно, без обработки, используется для питьевых целей. Другими словами, задача заключается в защите эксплуатируемого горизонта в районе водозабора от поверхностных загрязнений. Поверхностные загрязнения могут проникать в водоносный горизонт через область питания горизонта, где он выклинивается на поверхность, через дефекты водонепроницаемой кровли (так называемые гидрогеологические окна) либо через нарушенные при бурении скважин геологические структуры, когда создается связь между выше- и нижерасположенными горизонтами. Особенно велика возможность загрязнения на территории, соответствующей радиусу воронки депрессии. Таким образом, даже глубокие межпластовые воды на ограниченных участках не защищены от поверхностного загрязнения, что и определяет необходимость создания ЗСО.

Для защиты подземных вод от микробного загрязнения служит 2-й пояс ЗСО, ограниченный контуром, от которого время движения загрязненного потока до водозабора (скважины) должно быть не меньше времени, за которое патогенные бактерии и вирусы теряют жизнеспособность и вирулентность. Граница 2-го пояса определяется гидродинамическими расчетами: допустимое время продвижения фронта микробного загрязнения (основной параметр) для грунтовых вод и межпластовых безнапорных принимается в 400 сут, а для межпластовых напорных вод - в 200 сут.

3-й пояс ЗСО подземных источников водоснабжения защищает водозабор от химического загрязнения. Границу 3-го пояса ЗСО подземного источника определяют с помощью гидродинамических расчетов. При этом исходят из условия, что если за пределами ЗСО в водоносный горизонт поступают стабильные химические загрязнения, то они или не достигнут водозабора, перемещаясь с подземными водами вне области захвата водозабора, или достигнут водозабора, но не ранее расчетного времени, определяемого принятой средней продолжительностью его технической эксплуатации (не менее 25 лет, или около 9000 сут). Возможность трансформации химического загрязнения в водоносном горизонте при определении границ 3-го пояса ЗСО не принимается во внимание, поскольку эти процессы мало изучены.

Мероприятия во 2-м и 3-м поясах ЗСО подземных источников водоснабжения направлены на защиту почвенного покрова и подлежащих грунтов от повреждения и загрязнения. На территории зоны должны быть выявлены все бездействующие скважины, представляющие опасность как источники загрязнения водоносного горизонта. Они должны быть затампонированы или восстановлены. Сооружение новых скважин на территории ЗСО сопровождается изменением гидродинамических условий, лежащих в основе расчета территории зоны, и влечет за собой необходимость пересмотра утвержденных ранее и действующих границ зоны.

На территории 2-го и 3-го поясов ЗСО запрещаются разработка полезных ископаемых, подземное складирование (захоронение) твердых отходов, а также сооружение скважин для закачки отработанных вод в глубокие подземные горизонты.

Размещение складов ядохимикатов, минеральных удобрений, горючесмазочных материалов, сооружение накопителей промышленных стоков, шламохранилищ и других объектов, представлящих опасность химического загрязнения подземных вод, может быть разрешено в исключительных случаях, при хорошей естественной защите эксплуатируемых водоносных горизонтов и при условии выполнения специальных гидроизоляционных мероприятий при строительстве этих объектов.

На территории 2-го пояса ЗСО, кроме того, запрещается размещение кладбищ, скотомогильников, сооружений почвенной очистки сточных вод и нечистот животноводческих предприятий, обусловливающих опасность микробного загрязнения почвы.

Жилая застройка на территории 2-го пояса ЗСО подземного источника водоснабжения должна быть канализована или оборудована водонепроницаемыми выгребами.

4.3. Выбор источника питьевого водоснабжения как профессиональная задача санитарного врача

Особенности качества воды и режима различных водных объектов следует учитывать при выборе источника вновь проектируемого или реконструируемого водопровода. Обоснованный выбор и правильная эксплуатация источника водоснабжения являются одними из главных, принципиальных вопросов гигиены питьевого водоснабжения.

Выбор источника проводится путем технико-экономического сравнения вариантов при приоритете гигиенических характеристик, о которых речь пойдет ниже.

Гигиенические требования к источнику водоснабжения изложены в ГОСТе 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора».

Федеральным Законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии» устанавливается, что выбор источника питьевого водоснабжения должен быть обязательно согласован с санитарно-эпидемиологической службой. Безусловное соблюдение требований ГОСТа при согласовании выбора источника водоснабжения - одно из непременных условий гарантированного получения воды питьевого качества.

Выбор источника водоснабжения требует компетентной оценки гидрогеологической (при подземном источнике) или гидрологической (при поверхностном источнике) ситуации, анализа данных гидрохимического, гидробиологического состава воды, методов водоподготовки и т.д. В выборе источника питьевого водоснабжения наряду с гигиенистами участвуют гидрологи, гидрогеологи, технологи по очистке воды, экономисты и другие специалисты.

В основе гигиенических требований, предъявляемых ГОСТом 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения», лежит следующий принцип: *качество воды источника водоснабжения в совокупности с адекватно примененной технологической схемой обработки должно гарантировать получение воды, соответствующей СанПиН «Питьевая вода».* Таким образом, гигиенические требования к качеству воды источника по существу непосредственно зависят от техники водоподготовки. Прогресс в этой области, несомненно, будет сопровождаться изменением гигиенических требований к источникам водоснабжения, а также служить основанием для периодических пересмотров документа.

ГОСТ 2761-84 распространяется на источники централизованного водоснабжения как с пресной, так и с солоноватой и соленой водой. Возможность использования солоноватых и соленых вод появилась лишь в последнее время в связи с разработкой новых методов опреснения воды. Однако опыт в области опреснения питьевой воды еще крайне мал, его технология нуждается в совершенствовании. Тщательной всесторонней гигиенической оценки требует также сама опресненная вода. В связи с этим ГОСТом предусмотрено использование таких источников только в особых случаях, при адекватных методах обработки, надежность которых подтверждена специальными технологическими и гигиеническими исследованиями. Основное внимание в ГОСТе уделено традиционным источникам водоснабжения, а именно подземным и поверхностным источникам пресной воды.

Требования к качеству воды источников в ГОСТе представлены *санитарными показателями,* которые характеризуют как природные свойства воды, так и возможное антропогенное и техногенное воздействие на источник. Санитарные показатели разбиты на две группы. *Первая группа,* общая для подземных и поверхностных источников, включает в себя показатели, не изменяющиеся при традиционных методах обработки воды. В нее включены показатели солевого состава воды: сухой остаток, концентрация хлоридов и сульфатов, общая жесткость, а также показатели содержания химических веществ, в отношении которых не имеется надежных методов очистки. Это в основном

химические соединения, попавшие в воду в результате промышленного, сельскохозяйственного или бытового загрязнения. Концентрации этих веществ не должны превышать ПДК для воды водных объектов, утвержденных Минздравом России.

Вторая группа показателей касается веществ, в отношении которых, наоборот, имеются эффективные методы очистки. Значения этих показателей определяют принадлежность источника к тому или иному классу, а следовательно, и необходимую обработку воды. Поскольку подземные и поверхностные источники имеют природные особенности, а также защищены от неблагоприятного воздействия антропогенных факторов в разной степени, в ГОСТе для них дается раздельная классификация.

При классификации *подземных источников* (табл. 4.1) к 1-му классу отнесены источники, вода которых по всем показателям соответствует требованиям СанПиН «Питьевая вода», имеет постоянный состав по временам года и вследствие этого не требует обработки.

Источники 2-го класса содержат воду с отклонениями от требований на питьевую воду либо по химическому составу (железо, марганец, сероводород), либо по микробиологическим показателям (число бактерий группы кишечных палочек). Качество воды может быть доведено до требований СанПиН «Питьевая вода» аэрированием, фильтрованием, обеззараживанием.

Ко 2-му классу относятся также подземные источники, качество воды которых отвечает требованиям на питьевую воду, но солевой состав непостоянный и зависит от времени года. Такие колебания солевого состава воды подземного источника свидетельствуют о его недостаточной защищенности от поверхностного загрязнения и являются косвенными показателями его ненадежности в эпидемиологическом отношении. Вода такого источника требует обязательного профилактического обеззараживания.

Вода подземных источников 3-го класса имеет такие отклонения от показателей СанПиН «Питьевая вода», которые требуют более сложной обработки с применением реагентных методов. Например, для удаления сероводорода, железа, марганца используют специальные аэраторы или окисление перед фильтрованием, для удаления фтора - контактно-сорбционную коагуляцию и др.

Таблица 4.1. Показатели качества воды и классы подземных источников питьевого водоснабжения

Показатель	Предельный уровень по классам		
	1-й	2-й	3-й
Мутность, мг/дм^3	1,5	1,5	10,0
Цветность, градусы	20	20	50
Водородный показатель (pH)	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0
Железо (Fe), мг/дм^3	0,3*	10	20
Марганец (Мп), мг/дм^3	0,1*	1	2
Сероводород (H_2S), мг/дм^3	Отсутствие	3	10
Фтор (F), мг/дм^3	1,5-0,7**	1,5-0,7**	5
Окисляемость перманганатная, мг О/дм^3	2	5	15
Число бактерий группы кишечных палочек в 1 дм^3	3	100	1000

* По согласованию с органами государственной санитарно-эпидемиологической службы допускается содержание железа до 1 мг/л, марганца - до 0,5 мг/л.

** В зависимости от климатического района.

Поверхностные источники также делят на 3 класса (табл. 4.2). К 1-му классу отнесены источники с маломутной (до 20 мг/л) и малоцветной (до 35 градусов) водой, которая может быть доведена до требований на питьевую воду путем фильтрации без коагулирования или с применением малых доз коагулянта и обеззараживания.

Ко 2-му классу относятся источники с более мутной (до 1500 мг/л), более цветной (до 120 градусов) водой или с водой, содержащей значительные количества планктона, но сравнительно чистой в отношении промышленных и бытовых загрязнений. Для очистки такой воды приемлемы традиционные методы обработки: коагулирование с последующим отстаиванием и фильтрование, контактное осветление, обеззараживание, микрофильтрование для удаления планктона.

К 3-му классу отнесены источники, качество воды которых не может быть доведено до требуемого с помощью традиционных схем

Таблица 4.2. Показатели качества воды и классы поверхностных источников питьевого водоснабжения

Показатель	Предельный уровень по классам		
	1-й	2-й	3-й
Мутность, мг/дм^3	20	1500	10 000
Цветность, градусы	35	120	200
Запах при 20 и 60 °С, баллы	2	3	4
Водородный показатель (pH)	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Железо (Fe), мг/дм^3	1	3	5
Марганец (Мп), мг/дм^3	0,1	1	2
Фитопланктон, мг/дм^3, не более клеток/дм^3	1 1000	5 10 000	50 100 000
Окисляемость перманганатная, мг О/дм^3	7	15	20
БПК мг O_2/дм^3,	3	5	7
Число лактозоположительных кишечных палочек в 1 дм^3	1000	1000	50 000

Примечание. БПК - биохимическая потребность в кислороде.

и методов очистки, в связи с чем требуется дополнительная обработка. Для высокомутных вод это дополнительная ступень отстаивания, для устранения запаха или органических промышленных загрязнений - применение окислителей и сорбентов, для устранения повышенной бактериальной загрязненности - более эффективное обеззараживание.

Необходимо подчеркнуть, что по своей цели (повышение *санитарной* надежности системы питьевого водоснабжения), по содержанию (классы *санитарных* показателей) данная классификация является *санитарной классификацией.* Это эффективный инструмент санитарного врача при надзоре за питьевым водоснабжением.

Стандартом установлено, что класс источника определяется организацией, разрабатывающей проект водоснабжения.

ГОСТ включает в себя требования по защите источника водоснабжения от загрязнения путем организации зоны санитарной охраны (ЗСО). Порядок организации ЗСО регламентирован СанПиН «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения».

В 3-м разделе стандарта изложены правила выбора и оценки пригодности источника для питьевого водоснабжения. Выбор источника определяется его санитарной надежностью и предусматривает последовательность: межпластовые напорные воды, межпластовые безнапорные воды, грунтовые воды, искусственно пополняемые и подрусловые подземные воды, поверхностные (реки, водохранилища, озера, каналы) воды. Источник выбирают на основании *технико-экономического сравнения вариантов.* При этом соблюдают следующие условия:

- интенсивность загрязнений воды, поддающихся устранению современными методами обработки, должна соответствовать эффективности проектируемых очистных сооружений;
- состав и свойства воды, не поддающиеся изменению современными методами обработки, должны соответствовать требованиям СанПиН «Питьевая вода»;

- совокупность природных условий источника водоснабжения и специально осуществленных санитарных и технологических мероприятий (водоподготовка) должна обеспечивать санитарную надежность водопровода.

Так как одним из важнейших критериев пригодности источника является качество его воды, ГОСТ регламентирует минимальные требования к объему и кратности исследований воды при выборе источника. Для оценки качества воды источника должны быть представлены анализы проб, отобранных в месте предполагаемого водозабора ежемесячно не менее чем за 3 года. Такая совокупность анализов позволит составить представление о санитарной надежности подземного источника и о динамике техногенного химического и микробного загрязнения воды поверхностного источника. В приложениях 3 и 4 к ГОСТу 2761-84 определен объем анализа для оценки качества воды подземного и поверхностного источника водоснабжения. Он включает в себя, во-первых, показатели, по которым устанавливается класс источника; во-вторых, показатели, определяющие общие требования к качеству воды источников, и, в-третьих, показатели эпидемической безопасности воды. Последние наряду с определением количества сапрофитных бактерий и индекса кишечных палочек предусматривают определение возбудителей кишечных инфекций (сальмонелл, шигелл, энтеровирусов), показателей свежего фекального загрязнения (эшерихий коли, энтерококков) и показателей вирусного загрязнения (колифагов). Эти определения по всем 3 направлениям проводятся для подземных источников, относящихся по коли-индексу ко 2-му и 3-му классам, и для поверхностных источников всех классов.

Документ заканчивается указанием, что заключение санитарно-эпидемиологической службы о возможности использования источника действительно в течение 3 лет. Если начало строительства водопровода было отложено более чем на 3 года после получения положительного санитарно-эпидемиологического заключения, в течение которых могла измениться санитарная ситуация, необходимо повторное заключение.

ГЛАВА 5   ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБОВ И МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

5.1. Устройство и гигиеническая характеристика водозаборных сооружений

Приемы и сооружения *водозабора* для питьевого водоснабжения при поверхностном и подземном источниках различаются как организацией, так и конструкцией.

Устройство водозабора из поверхностных источников должно обеспечить постоянство ее состава. Водозабор располагают, как правило, выше населенного места, обслуживаемого данным водопроводом, на участке реки с устойчивым руслом и достаточной глубиной.

Если вблизи берега есть глубины, обеспечивающие условия водозабора, и берег относительно крутой, устраивают *водозаборы берегового типа.* Они располагаются на склоне берега и отбирают воду из прибрежной зоны водного объекта.

При пологом береге водозабор выносят в русло реки, устраивая там специальный водоприемный оголовок *(водозабор руслового типа).* От оголовка вода поступает по трубе в береговой колодец, откуда насосами первого подъема подается на очистные сооружения. Насосная станция может быть совмещена с оголовком. Иногда для улучшения условий приема воды ее отбирают не непосредственно из русла реки, а из искусственно созданных заливов - ковшей *(ковшевые водозаборы).*

При сильном загрязнении воды источника и при хорошо фильтрующих грунтах применяют *водозаборы инфильтрационного типа.* Эти водозаборы отбирают воду из расположенных на берегу колодца или скважины, куда она инфильтрируется через грунт дна и берега водного объекта. Такой способ позволяет использовать сорбирующую способность грунтов в отношении как биологического, так и химического загрязнения и тем самым не только уменьшить нагрузку на очистные сооружения, но и обеспечить большее постоянство состава исходной воды. В конечном счете повышается санитарная надежность системы водоснабжения.

Водозабор из подземных источников производится через буровые скважины и шахтные колодцы и каптажи.

Буровые скважины представляют собой цилиндрические вертикальные каналы, проходящие через толщу земли до намеченного к эксплуатации водоносного горизонта. Скважины для добычи воды бурят ударным (колонковым) или вращательным (роторным) способом.

При ударном бурении породу разрушают ударами долота о забой, а разрушенная порода вычерпывается и извлекается желонкой. При роторном бурении породу разрушают снарядами, вращающимися в забое, а удаляют вымыванием глинистым раствором под

давлением. Глинистый раствор готовится из чистых глины и воды с добавлением хлорной извести для дезинфекции и повышения пластичности глинистой массы. Правильная конструкция скважины имеет большое значение для ее эксплуатационной и санитарной надежности, позволяет увеличить сроки ее службы и сохранить качество воды. Стенки скважин для предохранения от обрушения и изоляции от водоносных горизонтов, расположенных выше эксплуатируемого, закрепляют колоннами *обсадных труб* (как правило, стальных). При оборудовании буровой скважины необходимо

соблюдать ряд требований, обеспечивающих ее герметичность, с целью сохранения качества исходной воды, которое очень часто соответствует требованиям, предъявляемым к питьевой воде.

Схема водозаборной скважины приведена на рис. 5.1.

В скважине различают водоприемную часть (ствол) и верхнюю, выходную, часть (устье), соединяющуюся с водопроводом через оголовок. Устье скважины располагается в специальной подземной шахте или наземном павильоне для предохранения от замерзания.

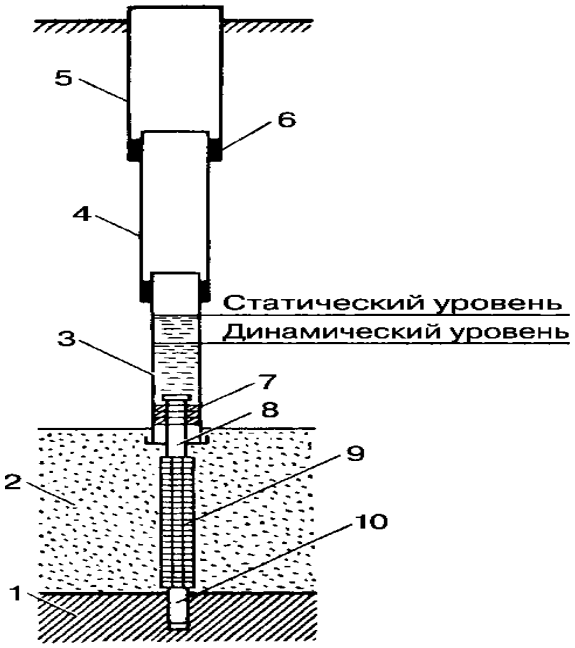


Рис. 5.1. Устройство артезианской скважины. 1 - водоупорный пласт; 2 - водоносный пласт; 3, 4, 5 - колонны обсадных труб; 6 - изолирующая цементная заливка межтрубных пространств; 7 - уплотнительный сальник; 8 - надфильтровая труба; 9 - сетчатый фильтр; 10 - отстойник.

Оно должно быть герметически соединено с оголовком скважины при помощи фланцев с резиновыми прокладками и доступно осмотру. При расположении скважины в шахте последняя должна быть защищена от поступления почвенной воды, сверху иметь бетонную или асфальтовую отмостку и герметичную крышку. Первая (наружная) колонна обсадных труб, называемая кондуктором, служит для защиты устьевой части скважины от размыва и обрушения. Она опускается до верхнего уровня первого водоносного горизонта. Вторая колонна обсадных труб, меньшего диаметра, проходит верхний водоносный горизонт и задавливается (фрезеруется) в водоупорный слой. При залегании эксплуатируемого горизонта на большой глубине скважину проходят несколькими колоннами обсадных труб. Диаметр внутренней, эксплуатационной, колонны, определяется габаритами фильтра и насоса первого подъема. Для улучшения герметичности скважины вышележащие водоносные горизонты должны быть пройдены не менее чем двумя колоннами обсадных труб. Межтрубные и затрубные пространства заливают цементным раствором под давлением.

Если скважина пробурена роторным способом, то ствол скважины закрепляется одной колонной труб, опущенной в породы намеченного к эксплуатации водоносного горизонта. В этом случае разъединение водоносных горизонтов достигается цементацией затрубного пространства с выдавливанием цементного раствора от башмака (нижней части) обсадной трубы до поверхности земли. Образуемый таким образом вокруг обсадной трубы «цементный стакан» служит хорошей антикоррозионной защитой. После окончания бурения скважины производят так называемую строительную откачку. При этом обсадные трубы промываются от железа, глинистых частиц и внесенных при бурении загрязнений. Продолжительность откачки определяется местными гидрогеологическими условиями и колеблется от нескольких суток до месяца и более.

Способ подъема воды из скважин зависит от уровня воды в них. При динамическом уровне до 7 м от поверхности земли возможно применение *центробежных насосов на горизонтальном валу.* Если динамический уровень воды устанавливается на глубине до 120 м, используют *центробежные насосы на вертикальном валу,* устанавливаемые над скважиной. Для подъема воды из глубоких скважин широкое применение находят *погружные центробежные электрические насосы,* удовлетворяющие всем гигиеническим требованиям. Погружной насос представляет собой единый блок, состоящий из электромотора и нескольких камер с лопастными колесами. Он опускается

на эксплуатационной трубе до погружения в воду эксплуатируемого горизонта. Погружные насосы способны поднять воду с глубины до 500 м.

5.2. Гигиенические задачи подготовки питьевой воды

Вода природных источников питьевого водоснабжения, как правило, не соответствует гигиеническим требованиям к питьевой воде и требует перед подачей населению подготовки - *очистки и обеззараживания.* Лишь в некоторых случаях к воде приходится добавлять какие-либо вещества для корректировки ее солевого состава; в этом случае говорят о *кондиционировании воды.*

Под *очисткой воды* при подготовке ее для питьевого водоснабжения понимают снижение концентрации примесей до уровня, обеспечивающего безвредность и безопасность потребления воды человеком, т.е. до уровня гигиенических нормативов. Полное освобождение воды от имеющихся примесей не предусматривается. Основными способами очистки поверхностного источника являются *осветление, обесцвечивание и обеззараживание. Осветление воды* - удаление из нее взвешенных веществ. *Обесцвечивание воды* - устранение окрашенных коллоидов (как правило, природных гуминовых веществ) или истинно растворенных веществ. *Специальные методы обработки воды* (обезжелезивание, сорбционные методы и пр.), целью которых является удаление из воды каких-либо конкретных химических соединений, используются на водопроводах из подземных источников. На водопроводах из поверхностных источников к специальным методам прибегают редко.

Обеззараживание питьевой воды означает ее освобождение от жизнеспособных и вирулентных микроорганизмов - бактерий и вирусов, а также от яиц гельминтов и вегетативных форм, и цист простейших. При обеззараживании воды до установленных нормативов в ней остается достаточно жизнеспособных сапрофитных микроорганизмов, но стремление освободить воду от них не имеет гигиенического обоснования и поэтому нецелесообразно с экономической точки зрения.

К *кондиционированию воды* чаще прибегают при использовании в централизованных системах питьевого водоснабжения источников с солоноватой или соленой водой после ее глубокого обессоливания. Возможно кондиционирование и при подготовке бутилированной воды.

5.3. Принципиальные основы технологии подготовки питьевой воды

Способы и методы улучшения качества воды и состав водоочистных сооружений питьевого водопровода зависят от вида источника, а также от состава и свойств воды.

В современных условиях большое значение имеет предварительное удаление из воды фито- и зоопланктона, способного к разрастанию на очистных сооружениях, что затрудняет их работу. Кроме того, при отмирании и последующем разложении планктона ухудшаются органолептические свойства воды - появляются неприятный запах, привкус, повышается мутность.

Для предварительной очистки воды от планктона и крупных примесей используют *микрофильтры* и *барабанные сита.* Эти сооружения применяют при продолжительности цветения водоема не менее 1 мес и среднемесячном содержании планктона более 1000 клеток в 1 $см^3$ воды.

Основной частью микрофильтров и барабанных сит является многогранный барабан с фильтрующими элементами - прямоугольными рамами, на которые между двумя поддерживающими сетками натянута фильтрующая сетка с ячейками 0,04х0,04 мм для микрофильтров и 0,5х0,5 мм для барабанных сеток. Обрабатываемая вода подается внутрь барабана и, фильтруясь через сетку, поступает в камеру микрофильтра, а оттуда в трубопровод, подающий воду на другие сооружения. Барабан погружен в камеру на $^3/_5$ диаметра и постоянно вращается. На сетки, находящиеся в верхнем положении, поступает промывная вода, которая смывает задержанные загрязнения и через воронки

отводится в канализацию. Микрофильтры снижают содержание взвеси на 30-40%, практически полностью задерживают зоопланктон и на 60-90% - фитопланктон. Применение микрофильтров позволяет намного улучшить работу последующих сооружений.

Осветление и обесцвечивание. *Осветление* является основным технологическим процессом улучшения органолептических свойств воды. Оно заключается в освобождении воды от взвешенных веществ, определяющих мутность воды. Взвешенные в воде вещества различаются по плотности и размерам составляющих их частиц, от которых зависит скорость их выпадения в осадок. Скорость выпадения частиц взвеси при температуре воды 10 °С носит название *гидравлической постоянной* частиц (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Скорость и время осаждения взвешенных частиц в воде

Диаметр частиц, мм	Тип частиц	Гидравлическая постоянная	Время, необходимое для осаждения на 1 м
1	Крупный песок	100	10 с
0,1	Мелкий песок	8	2 мин
0,01	Ил	0,154	2 ч
0,01	Глина	0,0154	7 дней
0,001	Мелкая глина	0,00154	2 года
0,0001	Коллоидные мицеллы	0,000154	200 лет

Большие различия гидравлической постоянной предполагают использование разных методов освобождения воды от тех или иных фракций взвеси. Традиционными методами осветления воды, *механическим отстаиванием* и *фильтрацией,* удается задержать взвешенные частицы более 0,001 мм. Для удаления из воды коллоидов необходимо предварительное разрушение их структуры методом *коагуляции.*

Коагуляцией называется процесс укрупнения, агрегации коллоидных и тонкодисперсных примесей воды вследствие их взаимного слипания под действием сил молекулярного притяжения.

Коагуляция примесей воды позволяет ускорить осветление и обесцвечивание. Коагуляция происходит под влиянием химических реагентов - коагулянтов, которые либо нарушают агрегативную устойчивость примесей воды, либо образуют коллоиды, сорбирующие примеси воды. В качестве коагулянтов чаще всего используют соли алюминия или железа.

В практике водоподготовки известны два вида коагуляции - коагуляция в толще зернистой загрузки фильтра (контактная коагуляция) и коагуляция, происходящая в камерах хлопьеобразования (коагуляция в свободном объеме).

Механизм контактной коагуляции - нарушение агрегативной устойчивости коллоидных примесей воды в результате устранения или снижения до очень малых значений заряда мицеллы. При добавлении к обрабатываемой воде коагулянта, например сульфата алюминия, происходит его гидролиз с образованием трехвалентного иона алюминия:

$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O = 2Al^{3}+ + 3SO_4^{2} + 6H+ + 6OH^{-}$.

Ионы алюминия нейтрализуют заряд коллоидных частиц примесей воды и тем самым нарушают их агрегативную устойчивость. Лишенные устойчивости коллоидные частицы, проходя с потоком воды через фильтр (контактный осветлитель), адсорбируются на поверхности частиц зернистой загрузки фильтра под влиянием сил межмолекулярного взаимодействия. Это приводит к осветлению и обесцвечиванию воды.

Механизм коагуляции в свободном объеме имеет иной характер. Так же как и при контактной коагуляции, введение в обрабатываемую воду сульфата алюминия обусловливает нейтрализацию заряда природных коллоидов воды и снижение их агрегативной устойчивости. Этот процесс протекает очень быстро и заканчивается при установлении равновесия между катионами коагулянта и мицеллами природных

коллоидов. После этого начинается образование гидроксида алюминия как в результате гидролиза:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4 ,$$

так и путем взаимодействия коагулянта с присутствующими в воде карбонатами и бикарбонатами (резервная щелочность воды):

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 = 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2.$$

Гидроксид алюминия имеет коллоидную структуру (золь), вследствие чего обладает развитой поверхностью, сорбирующей примеси воды, в том числе природные коллоиды, потерявшие агрегативную устойчивость.

Гидролиз коагулянта является обратимой реакцией, и на его полноту влияет активная реакция воды. Понижение pH подавляет гидролиз солей слабых оснований, каким является сульфат алюминия. При повышении pH образуется отрицательно заряженный алюминатион $[AlO_2]^-$, не приводящий к коагуляции. Приемлемое для гидролиза значение pH 4,3-7,6, оптимальное - 5,5-6,5.

На эффективность коагуляции влияют также количество грубой взвеси, частицы которой служат своеобразными «ядрами коагуляции», интенсивность перемешивания, температура воды.

Очевидно, что для вод различного состава нужны разные дозы коагулянта. Предварительный расчет оптимальной дозы производят с учетом щелочности и цветности обрабатываемой воды. Однако сложность физико-химических процессов, приводящих к коагуляции, заставляет уточнять предварительно рассчитанную дозу *опытным путем.*

Для ускорения коагуляции и интенсификации работы очистных сооружений применяют так называемые *флоккулянты* - высокомолекулярные синтетические соединения. Различают флоккулянты анионного (полиакриламид, К-4, К-6, активированная кремниевая кислота) и катионного (например, ВА-2) типа. Применение флоккулянтов анионного типа требует предварительной обработки воды коагулянтом, использование катионных флоккулянтов - предварительного введения коагулянта не предполагает. Флоккулянты позволяют ускорить коагуляцию, увеличить скорость движения воды в отстойниках, уменьшить время отстаивания путем увеличения скорости осаждения хлопьев, повысить скорость фильтрования и продолжительность фильтроцикла.

Ассортимент веществ с флоккулирующими свойствами постоянно расширяется. Для применения в централизованном питьевом водоснабжении допускаются лишь флоккулянты, прошедшие гигиеническую апробацию и имеющие нормированные ПДК.

В составе сооружений для коагуляции в свободном объеме должны быть дозатор, смеситель и камера хлопьеобразования. Назначение сооружений ясно из их названия. Существует множество конструкций, различающихся материалоемкостью, сложностью монтажа и эксплуатации, эффективностью работы и производительностью.

Коагуляция только подготавливает воду для дальнейшей обработки - осветления и обесцвечивания и в этом смысле не является самостоятельным процессом. В ряде случаев в схеме подготовки питьевой воды коагуляцию не обозначают.

Первым этапом осветления водопроводной воды, прошедшей или не прошедшей коагуляцию, является осаждение взвешенных веществ в *отстойниках.* В отстойнике движение воды замедлено при увеличении сечения потока. Осаждением удается удалить из воды грубодисперсные примеси (частицы размером до 0,01 мм). В зависимости от направления движения воды различают горизонтальные и вертикальные отстойники.

Горизонтальный отстойник (рис. 5.2) представляет собой прямоугольный, вытянутый в направлении движения воды резервуар, снабженный приспособлениями для

сообщения воде ламинарного течения. Дно горизонтального отстойника имеет наклон в сторону входной части, где находится приямок для сбора осадка. Осветляемая вода поступает через водосливной лоток и далее через дырчатую перегородку с одной из торцовых сторон отстойника, а выходит с другой торцовой стороны также через дырчатую перегородку и затем через лоток.

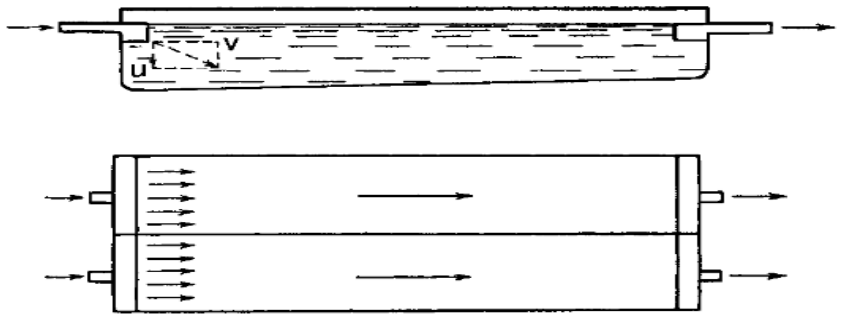


Рис. 5.2. Горизонтальный отстойник.
U - гидравлическая постоянная, V - скорость потока.

Обычно отстойник разбивают на ряд параллельно работающих коридоров шириной не более 6 м. Горизонтальные отстойники применяют на станциях водоподготовки производительностью 30 000 м^3/сут и более.

Перспективным методом интенсификации осаждения примесей воды является отстаивание в тонком слое. Этот прием используют в *отстойниках с тонкослойными модулями.* Тонкослойный модуль представляет собой блок из металла, напоминающий пчелиные соты, размером 1х1,5 м. Соты имеют сечение 0,15х0,005 м, длина канала 1,2-1,5 м. Тонкослойный модуль помещается в зоне осаждения горизонтального отстойника под углом до 40° к горизонтали. Производительность отстойника с тонкослойным модулем возрастает пропорционально внесенной площади пластин модуля.

Вертикальный отстойник (рис. 5.3) - резервуар конической или пирамидальной формы. В центре резервуара помещается металлическая труба, в верхнюю часть которой поступает осветляемая вода. При включении в схему обработки воды процесса коагуляции центральная труба служит камерой хлопьеобразования. Пройдя ее сверху вниз, осветляемая вода поступает в зону осаждения, которую проходит по всему ее сечению снизу вверх с небольшой скоростью.

Осветленная вода переливается через борт отстойника в круговой желоб. Осадок, накапливающийся в нижней части отстойника, периодически (1-2 раза в сутки) удаляют без выключения отстойника из работы, открывая задвижку на выпускной трубе. Скорость восходящего потока воды в вертикальном отстойнике определяется по данным лабораторного эксперимента с водой источника или по данным эксплуатации отстойников, работающих в аналогичных условиях; обычно она составляет 0,4-0,6 мм/с.

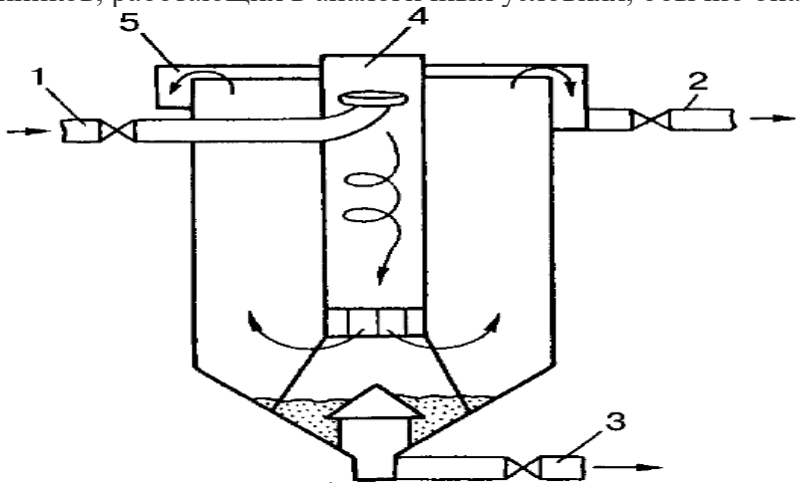


Рис. 5.3. Вертикальный отстойник.

1, 2 - соответственно подача сырой и отвод обработанной воды; 3 - сброс осадка; 4 - камера хлопьеобразования; 5 - кольцевой сборный лоток.

Преимуществом вертикальных отстойников является малая площадь; их рекомендуется применять на водопроводах небольшой производительности (до 3000 $м^3$/сут).

Осветление коагулированной воды происходит значительно интенсивнее, если осветляемая вода проходит через слой ранее образованного осадка, находящегося во взвешенном состоянии. Контакт воды с осадком способствует получению более крупных и плотных хлопьев, чем в отстойниках, резко улучшает гидравлическую характеристику взвеси. Это свойство взвешенного осадка было использовано отечественными инженерами для разработки принципиально новых типов водоочистных сооружений - *осветлителей с взвешенным осадком.* В таких осветлителях процесс осветления происходит значительно быстрее, снижается расход коагулянта. Осветлители в настоящее время успешно вытесняют отстойники, особенно при осветлении мутных вод с концентрацией взвешенных веществ от 500 до 5000 мг/л. Известно несколько конструкций осветлителей с взвешенным осадком, но все они дают примерно одинаковое качество осветляемой воды. При правильно выбранных сооружениях для осаждения взвешенных веществ их содержание в обработанной воде составляет 8-12 мг/л.

Остаточная взвесь представлена в основном тонкодисперсными суспензиями минеральных веществ, бактериями и вирусами.

Несмотря на высокую *техническую эффективность* осаждения (процент удаления взвеси), такая вода не соответствует гигиеническим требованиям или, другими словами, отстойники и осветлители не могут дать достаточно *гигиенически эффективную* очистку (достижение уровня гигиенических требований). В связи с этим следующим этапом осветления воды на водопроводе становится ее фильтрование через фильтры с зернистой загрузкой. Фильтры разделяют по скорости фильтрования на медленные (0,1-0,3 м/ч) и скорые (5-10 м/ч), по направлению фильтрующего потока - на одно- и двухпоточные, по числу фильтрующих слоев - на одно- и двухслойные.

Фильтр с зернистой загрузкой представляет собой железобетонный резервуар, заполненный фильтрующим материалом в два слоя (поддерживающий и фильтрующий). Фильтрующий слой выполняют из отсортированного материала достаточной механической прочности (кварцевый песок, антрацитовая крошка, керамзит, шунгизит, дробленый мрамор). Новые фильтрующие материалы проходят санитарную экспертизу, в ходе которой устанавливаются их состав, а также скорость и степень вымываемости отдельных элементов, особенно тяжелых металлов. Материалы, получившие положительную оценку, вносятся в «Перечень новых материалов и реагентов, разрешенных Департаментом государственного санитарно-эпидемиологического надзора Минздрава России для применения в практике питьевого водоснабжения».

Поддерживающий слой служит для того, чтобы мелкий фильтрующий материал не уносился вместе с фильтруемой водой через отверстия распределительной системы. Он состоит из слоев гравия или щебня разной крупности, постепенно увеличивающейся сверху вниз от 2 до 40 мм. Распределительная система фильтра состоит из труб с отверстиями разной формы и размера. Ее назначение - сбор и отвод профильтрованной воды без выноса зерен фильтрующего материала, а также равномерное распределение воды по площади фильтра при его промывке.

Фильтрование воды осуществляют двумя принципиально разными методами. Пленочное фильтрование предполагает образование пленки из ранее задержанных примесей воды в верхнем слое фильтрующей загрузки. Вследствие механического осаждения частиц взвеси и их прилипания к поверхности зерен загрузки уменьшается размер пор. Затем на поверхности песка развиваются водоросли, бактерии и пр., дающие начало илистому осадку, состоящему из минеральных и органических веществ

(биологическая пленка). Образованию пленки способствуют малая скорость фильтрации, большая мутность воды, значительное содержание фитопланктона. Толщина пленки достигает 0,5-1 мм и более.

Биологическая пленка играет решающую роль в работе так называемых *медленных фильтров.* Помимо задерживания мельчайшей взвеси, пленка задерживает бактерии (уменьшая их количество на 95- 99%), обеспечивает снижение окисляемости (на 20-45%) и цветности (на 20%). Постепенное утолщение пленки вызывает сопротивление фильтрованию - так называемую *потерю напора,* что требует периодической чистки медленного фильтра (снятие с его поверхности пленки и верхнего слоя песка). Медленные фильтры, простые в устройстве и эксплуатации, были первыми очистными сооружениями городских водопроводов в начале XIX века. В дальнейшем в связи с ростом водопотребления и мощностей водопроводов они уступили место скорым фильтрам, преимуществами которых являются большая производительность и меньшая площадь. С развитием централизованного водоснабжения в сельской местности роль медленных фильтров как простых и надежных сооружений для подготовки питьевой воды возрастает.

Медленные фильтры сооружают с фильтрующим слоем из кварцевого песка высотой 800-850 мм и поддерживающим слоем гравия или щебня высотой 400-450 мм. Профильтрованная вода собирается дренажной системой, расположенной на дне фильтра. Фильтр вручную очищают через 10-30 сут, снимая верхний слой песка толщиной 15- 20 мм и подсыпая свежий. В течение нескольких дней после очистки фильтра до образования биологической пленки фильтрат идет на сброс.

Объемное фильтрование, осуществляемое на *скорых фильтрах,* является физико-химическим процессом. При объемном фильтровании механические примеси проникают в толщу фильтрующей загрузки и адсорбируются под действием сил молекулярного притяжения на поверхности ее зерен и ранее прилипших частиц. Чем больше скорость фильтрования и чем крупнее зерна загрузки, тем глубже проникают в ее толщу загрязнения и тем равномернее они распределяются.

В результате уменьшения размера пор возрастает сопротивление загрузки при фильтровании, происходит потеря напора. Время от начала работы фильтра до достижения предельной потери напора, при которой фильтр должен быть выключен на промывку, называется *временем фильтроцикла,* или *фильтроциклом.*Время, в течение которого фильтр выдает воду надлежащего качества, называется временем защитного действия загрузки. Темп потери напора и качество фильтрата, как это видно на рис. 5.4, непропорциональны. Для санитарной надежности фильтра необходимо так подбирать режим его работы и параметры загрузки, чтобы время фильтроцикла было меньше времени защитного действия загрузки. В практике питьевого водоснабжения их соотношение должно быть примерно 1:0,8.

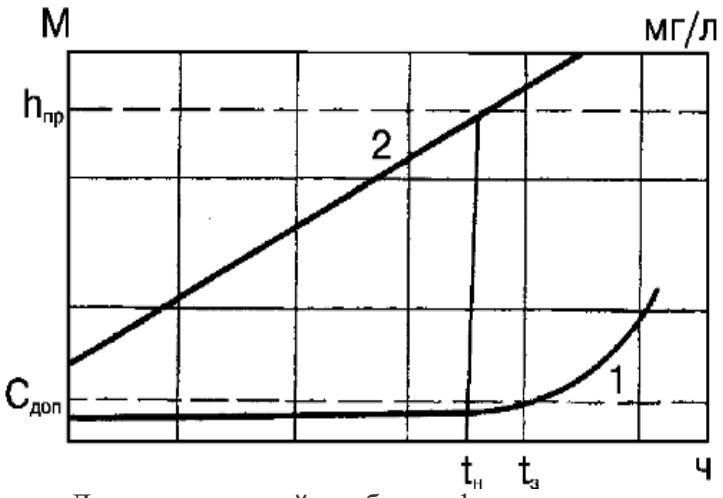


Рис. 5.4. Зависимость качества фильтрата от сопротивления фильтрующей загрузки.

$t_{пр}$ - предельная потеря напора; $C_{доп}$ - концентрация взвешенных веществ, допустимая в обработанной воде; $t_З$ - время защитного действия загрузки; $t;_н$ - время достижения предельной потери напора. 1 - концентрация взвешенных веществ в обработанной воде; 2 - потеря напора фильтрации.

Для нормальной работы фильтра важно, чтобы скорость фильтрования была

постоянной в течение всего фильтроцикла, т.е. не уменьшалась по мере загрязнения фильтра. С этой целью на трубопроводе, отводящем фильтрованную воду, устанавливают автоматически работающие регуляторы скорости фильтрации, благодаря которым через фильтр проходит все время постоянное количество воды.

Устройство скорого фильтра показано на рис. 5.5. Коагулированная и прошедшая отстойник или осветлитель вода поступает через боковой карман в резервуар фильтра. Высота слоя воды над поверхностью загрузки должна быть не менее 2 м. В процессе работы фильтра вода проходит фильтрующий и поддерживающий слои и через распределительную систему направляется в резервуар чистой воды. По окончании фильтроцикла производится промывка фильтра.

Промывку производят обратным током чистой профильтрованной воды путем ее подачи под необходимым напором в распределительную систему. Промывная вода, проходя с большой скоростью (в 7- 10 раз больше скорости фильтрования) через фильтрующую загрузку снизу вверх, поднимает и взвешивает ее. Зерна расширившейся загрузки хаотично двигаются, ударяются друг о друга, сорбированные на них загрязнения попадают в промывную воду, которая вместе с загрязнениями переливается через кромки сборных желобов, расположенных над поверхностью фильтрующей загрузки, и отводится по ним в водосток.

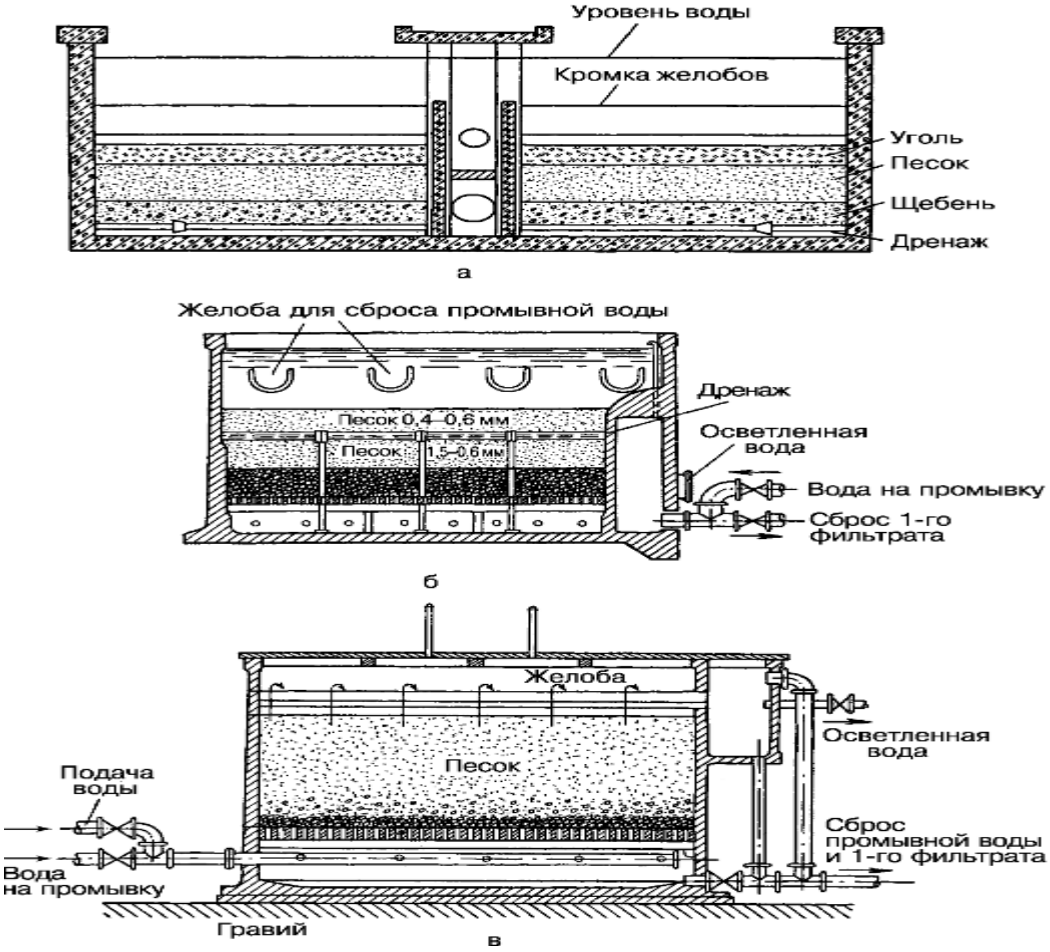


Рис. 5.5. Скорые фильтры.
а - двухслойный фильтр, б - двухпоточный фильтр, в - контактный осветлитель.

Продолжительность промывки скорых фильтров5-7 мин. Количество промывной воды зависит от типа загрузки и колеблется от 12 до 18 л/(с-м^2).

С целью ускорения фильтрации при конструировании новых фильтров повышают их грязеемкость, под которой понимают массу загрязнений в килограммах, задержанных 1 м^3 фильтрующей загрузки фильтра в течение фильтроцикла. К числу фильтров с

повышенной грязеемкостью относятся фильтры с двухслойной загрузкой, двухпоточные фильтры системы АКХ и двухпоточные фильтры ДДФ.

В *фильтрах с двухслойной загрузкой* (см. рис. 5.5, а) над слоем песка 0,4-0,5 м насыпают слой дробленого антрацита или керамзита. В таком фильтре верхний слой, состоящий из более крупных зерен, задерживает основную массу загрязнений, а песчаный - их остаток, прошедший через верхний слой. Общая грязеемкость двухслойного фильтра в 2-2,5 раза больше грязеемкости обычного скорого фильтра. Плотность антрацита (керамзита) меньше плотности песка, поэтому после промывки фильтра послойное расположение загрузки восстанавливается самостоятельно. Скорость фильтрации в двухслойном фильтре 10-12 м/ч, что в 2 раза больше, чем в скором.

Принцип работы *двухпоточных фильтров АКХ* (см. рис. 5.5, б) заключается в том, что основная масса воды (70%) фильтруется снизу-вверх, а меньшая часть (30%), как и в обычных фильтрах, - сверху вниз. Благодаря этому основная масса загрязнений задерживается в нижней наиболее крупнозернистой части фильтра, имеющей большую грязеемкость. Толщина фильтрующего слоя в фильтре АКХ 1,45- 1,65 м. На глубине 0,5-0,6 м от поверхности фильтрующей загрузки устанавливается трубчатый дренаж, через который отводится профильтрованная вода.

При промывке фильтра АКХ сначала в течение 1 мин подают промывную воду в дренажное устройство для взрыхления верхнего слоя песка, затем в течение 5-6 мин - через распределительную систему, расположенную на дне фильтра. Грязная вода, как и в обычных фильтрах, собирается в желобе и отводится в водосток. Фильтры ДДФ конструктивно отличаются от фильтров АКХ двухслойной загрузкой (антрацит и песок, керамзит и песок) в над дренажном слое. В фильтрах АКХ и ДДФ задерживающая способность фильтрующей загрузки используется по всей ее высоте, что позволяет повысить скорость фильтрации до 12-15 м/ч и увеличить производительность фильтра на 1 $м^2$ поверхности в 2 раза. В практике водоподготовки с целью интенсификации работы очистных сооружений используется коагуляция в зернистой загрузке скорых фильтров (контактная коагуляция), описанная выше.

Контактная коагуляция особенно эффективна при смешивании коагулянта с обрабатываемой водой непосредственно перед ее введением в зернистую загрузку. При этом расход коагулянта снижается на 20%. Температура воды не влияет на контактную коагуляцию, хотя имеет большое значение при коагуляции в свободном объеме. Применение контактной коагуляции целесообразно при низких концентрациях взвеси в воде и отсутствии щелочного резерва. Сооружения, в которых используется метод контактной коагуляции, называются *контактными осветлителями* (см. рис. 5.5, в).

Для контактных осветлителей не нужно строить камеры хлопьеобразования и отстойники, что позволяет уменьшить объем сооружений в 4-5 раз и сократить капитальные затраты. Раствор коагулянта вводят в воду перед ее подачей на фильтрацию.

Вода фильтруется в направлении убывающей крупности зерен, снизу-вверх, благодаря чему основная часть загрязнений задерживается в нижних крупнозернистых слоях. Большая высота загрузки увеличивает продолжительность фильтроцикла до 8 ч. Расчетная скорость фильтрования 5-6 м/ч. Скорость фильтрации на контактном осветлителе КФ-5 составляет 20 м/ч. Контактные осветлители удовлетворительно работают при осветлении воды, содержащей не более 150 мг/л взвешенных веществ (включая образующиеся вследствие коагулирования) и при цветности до 150 градусов.

В контактных осветлителях, в отличие от фильтров, осветленная вода находится над фильтрующей загрузкой, поэтому зеркало воды должно быть изолировано от помещения управления осветлителями. Этой цели служит остекленная перегородка на всю высоту помещения.

Очистные сооружения водопровода для осветления и обесцвечивания воды способны, кроме того, задержать до 90% находящихся в воде бактерий и вирусов. После осветления и обесцвечивания с помощью физических и физико-химических методов вода

по органолептическим свойствам и химическому составу должна соответствовать нормативам питьевой воды, но для достижения эпидемической безопасности необходимо обеззараживание.

5.4. Специальные методы подготовки питьевой воды

В практике питьевого водоснабжения прибегают к специальным методам обработки воды с целью удаления из нее некоторых химических веществ. Наиболее распространены обезжелезивание, фторирование и дефторирование воды; в широкую практику входят различные методы опреснения. Как правило, эти методы применяют при использовании подземных источников водоснабжения. Однако обезжелезивание бывает необходимым и для воды поверхностных источников при питании из болот, а установки для опреснения позволяют использовать морскую воду.

Обезжелезивание. Железо часто содержится в природных водах. В подземных водах оно находится в виде растворов закиси, сульфидов, карбонатов и бикарбонатов, реже комплексных железо органических соединений. Поверхностные воды содержат коллоидные или тонкодисперсные взвеси гидроксидов, сульфаты железа, комплексы сложного состава с гуминовыми соединениями.

Выбор метода, технологической схемы и сооружений для обезжелезивания зависит от вида соединений железа в обрабатываемой воде, других ее свойств (активная реакция, щелочность и т.п.), производительности установки и представляет собой сложную технологическую задачу, для решения которой часто приходится прибегать к эксперименту в естественных условиях с водой конкретного источника водоснабжения.

Обезжелезивание подземных вод наиболее часто проводят безреагентными, аэрационными методами. В основе безреагентных методов лежит предварительная аэрация воды с целью удаления свободной углекислоты и сероводорода, повышения pH, обогащения кислородом воздуха. В результате окисления железа кислородом воздуха образуется гидроксид железа, который удаляется из воды осаждением или фильтрованием.

В состав установки по обезжелезиванию входят аэрационное устройство (градирня, вакуумно-эжекционный аппарат, брызгальный бассейн), контактный резервуар - отстойник или контактный фильтр и осветлительный фильтр. При введении в схему водопровода такого комплекса сооружений нарушается принцип герметичности в подаче воды потребителю из глубокого, защищенного источника, поэтому заключительным этапом обработки обязательно должно быть обеззараживание воды.

В последнее время получила распространение аэрация воды «в пласте», при которой окисление железа производится кислородом воздуха, нагнетаемого в водоносный пласт через буровую скважину. Существуют схемы подачи воздуха через эксплуатационную скважину или через скважины, специально пробуренные рядом с эксплуатационной. Схему выбирают на основании гидрогеологического заключения. Гигиенические требования к такому способу обезжелезивания питьевой воды заключаются в обеспечении чистоты атмосферного воздуха, нагнетаемого в скважину.

Обезжелезивание поверхностных вод осуществляют реагентными методами. В качестве реагентов используют сульфат алюминия, известь и хлор. Выбор реагента зависит от данных технологического анализа воды. Схема сооружений для реагентного обезжелезивания в принципе не отличается от схемы осветления с использованием коагуляции.

Фторирование. Фторирование воды было предложено как эффективное средство снижения заболеваемости кариесом зубов. Установлена определенная количественная зависимость между концентрацией фтор-иона в воде и заболеваемостью кариесом зубов (разрушением твердых тканей). На развитие кариеса влияют климатические условия (ультрафиолетовые лучи) и характер питания (достаточное количество молока, витаминов, микроэлементов). В связи с этим единой оптимальной концентрации фтора в

питьевой воде установить нельзя. При решении этого вопроса исходят из уровня заболеваемости кариесом в районе, обслуживаемом водопроводом, и из требований СанПиН «Питьевая вода» о предельной концентрации фтора в зависимости от климатического района. Для оценки противокариозной активности фторированной воды следует изучать пораженность детского населения кариесом в течение 10 лет после введения фторирования. В 2-3 школах ежегодно в одно и то же время года обследуют детей на пораженность кариесом. Если эффективность фторирования невелика, а флюороз не обнаруживается, можно несколько увеличить концентрацию фтора в питьевой воде. Если при снижении пораженности кариесом флюороз I степени наблюдается более чем в 10% случаев или имеются случаи флюороза II степени, концентрацию фтора в воде следует несколько снизить.

К реагентам для фторирования воды предъявляются следующие требования: высокое против кариозного действия при меньшей потенциальной токсичности, отсутствие ядовитых примесей (мышьяк, соли тяжелых металлов), хорошая растворимость в воде, безопасность для персонала (малое пыление), возможно низкая коррозионная активность по отношению к металлам. Наибольшее распространение в нашей стране получили фторид натрия, кремнефтористая кислота.

Фтор образует с алюминием коагулянта комплексные соединения, не обладающие против кариозной активности, поэтому фтор реагенты целесообразно добавлять после фильтров, перед резервуарами чистой воды. При текущем санитарном надзоре следует обращать внимание на точность дозировки фторсодержащего реагента. Колебания концентрации фтор-иона при подаче воды в сеть не должны превышать 10%. Желательно, чтобы контроль содержания фтор-иона в воде был автоматизирован. Операции с фторсодержащими реагентами в целях охраны здоровья персонала должны быть максимально герметизированы и механизированы.

Для *дефторирования* питьевой воды предложено много методов, которые можно разделить на реагентные (методы осаждения) и фильтрационные. Реагентные методы основаны на сорбции фтора свежеосажденными гидроксидами алюминия или магния. Этот метод рекомендуется при обработке поверхностных вод, когда, кроме дефторирования, требуются еще осветление и обесцвечивание. Технологическая схема состоит из вертикального смесителя, осветлителя со слоем взвешенного осадка и скорого фильтра.

Наиболее эффективна фильтрация воды через слой активированного оксида алюминия, играющего роль анионита. Регенерация фильтра производится 1-1,5% раствором сульфата алюминия. Этим методом удается снизить содержание фтора до концентрации менее 1 мг/л.

Использовать воду с высоким содержанием фторидов можно и без дефторирования. Если на территории водозабора наряду с водоносными горизонтами с высокой концентрацией фтора есть пласты, содержащие воду с его низкой концентрацией, воду обоих источников смешивают в пропорциях, обеспечивающих требования СанПиН к содержанию фтора.

Опреснение. В связи с необходимостью хозяйственного освоения территорий, не имеющих источников пресной воды, опреснение становится все более актуальной санитарно-технической проблемой. В России недостаток пресной воды ощущается на Южном Алтае, в Калмыкии, ряде районов Оренбургской, Астраханской областей. В этих регионах, как правило, имеются значительные ресурсы солоноватых (до 3 г/л) и соленых (3-10 г/л) вод.

Широкому применению опреснения препятствовали его высокая энергоемкость и дороговизна. Однако развитие энергетики, особенно атомной, и совершенствование методов опреснения позволили снизить стоимость обработки воды до уровня, позволяющего применять опреснение в масштабах большого города. Наиболее

распространенными методами опреснения воды на коммунальных водопроводах являются *дистилляция, ионный обмен, электродиализ* и *гиперфильтрация.*

Метод дистилляции основан на выпаривании воды с последующей конденсацией. Дистилляция экономически целесообразна при содержании солей в исходной воде выше 8 мг/л.

Недостатками дистилляции являются плохие органолептические свойства воды вследствие поступления в нее продуктов термического разложения органических веществ и низкая минерализация.

Привкусы и запахи устраняют путем фильтрования дистиллята через активированный березовый уголь. Для оптимизации минерального состава к дистилляту добавляют определенное количество необработанной воды либо пропускают дистиллят, предварительно насыщенный углекислотой, через мраморную крошку или доломит; при этом вода насыщается солями кальция.

При опреснении воды *ионообменным методом* ее последовательно пропускают через Н-катионитовые и ОН-анионитовые фильтры. Ионообменный метод рентабелен для солоноватых вод (до 3 г/л) и на установках невысокой производительности. Ионообменные смолы должны быть изучены в токсиколого-гигиеническом плане и официально разрешены Минздравом России для применения в питьевом водоснабжении.

Метод электролиза основан на том, что при пропускании постоянного тока через воду положительно заряженные катионы растворенных в ней солей движутся к погруженному в опресняемую воду катоду, а отрицательно заряженные - к аноду. Если емкость, через которую пропускают ток, разделить селективно проницаемыми для катионов и анионов мембранами на 3 части: анодную, катодную и среднюю (рабочую), то постепенно большая часть катионов будет перенесена электрическим током в катодное, анионов - в анодное пространство, а вода в рабочем пространстве опреснится. Отечественная промышленность выпускает электродиализные установки производительностью от 12 до 1000 $м^3$/сут.

Гиперфильтрацией называют процесс фильтрования воды через полупроницаемые мембраны, задерживающие гидратированные ионы солей и молекулы органических соединений. Гиперфильтрационная мембрана должна быть достаточно прочной, чтобы выдержать значительную нагрузку при прохождении через нее воды. По форме мембраны бывают листовые и трубчатые. Гиперфильтрационный аппарат представляет собой набор мембранных элементов и приспособлений, обеспечивающих их работу. Блочная конструкция аппарата позволяет быстро производить монтаж и замену вышедших из строя элементов.

5.5. Сооружения заводского изготовления для подготовки малых объемов питьевой воды

При организации централизованного питьевого водоснабжения для небольших населенных мест и отдельных объектов (дома отдыха, пансионаты, спортивные лагеря) в случае использования в качестве источника водоснабжения поверхностных водоемов и водотоков для очистки воды необходимы сооружения небольшой производительности. Этим требованиям отвечают компактные установки заводского изготовления производительностью от 25 до 8000 $м^3$/сут. В последние годы создано много образцов таких установок. Предусмотрены комплектная поставка основного оборудования и дополнительных материалов, специализированные центры по монтажу и наладке. Это во многом способствует санитарной надежности установок.

Модель установки выбирают, исходя из особенностей состава и свойств воды источника водоснабжения. Для очистки маломутных цветных вод из поверхностных источников рекомендуются установки одноступенчатого фильтрования с контактной коагуляцией. Для очистки природных вод с высоким антропогенным загрязнением используют установки с блоками осветления воды, озонирования и сорбции. Они

позволяют очистить воду, содержащую высокие концентрации фенолов, нефтепродуктов и других органических веществ. Универсальность установок позволяет без изменения конструкции вести работу в безреагентном и реагентном (с использованием коагулянта) режимах. В первом случае производительность установки в 4 раза меньше.

Установки заводского изготовления обеспечивают высокую техническую эффективность очистки: по взвешенным веществам 98-99%, по цветности до 80%; отстаивание и фильтрация снижают содержание бактерий группы кишечных палочек на 99,8-99,9%. Столь эффективная работа возможна при централизации эксплуатационной и ремонтной служб в масштабах района или области.

5.6. Барьерная роль очистных сооружений питьевого водопровода

Изменения химического состава природных вод в результате обработки на водопроводных сооружениях послужили основанием для изучения барьерной роли процессов коагуляции, осаждения и фильтрации относительно веществ, поступающих с промышленными сточными водами (различных нефтепродуктов, сельскохозяйственных ядохимикатов, продуктов органического синтеза). Результаты исследований показали возможность задержки этих веществ на всех этапах обработки воды. *Техническая эффективность* задержки в эксперименте колебалась в широких пределах (от 10 до 60-90%) и зависела в первую очередь от природы изучаемого ингредиента, а также от его исходной концентрации, дозы коагулянта, скорости фильтрации. При снижении исходной концентрации процент задержки уменьшался. При обычных дозах реагентов и скорости фильтрации эффективность задержки была небольшой. Даже при высокой задержке, наблюдавшейся в эксперименте, остаточные количества исследуемых веществ превышали их ПДК, т.е. *гигиеническая эффективность* очистных сооружений была недостаточной.

Таким образом, роль широко применяемых в практике водоснабжения методов осветления и обесцвечивания воды источника при подготовке питьевой воды состоит в освобождении от природных примесей (механическая взвесь, коллоиды) и частично от микрофлоры (до 90% исходного содержания). Защитная способность водопроводных сооружений относительно химических техногенных загрязнений весьма ограниченна. Она не может рассматриваться как основание для снижения требований к санитарной охране водных объектов, в частности к условиям спуска в них сточных вод, к организации и соблюдению режима ЗСО источников водоснабжения.

5.7. Централизованное горячее водоснабжение

Централизованное обеспечение жилых и общественных зданий горячей водой - очень важный элемент их благоустройства, способствующий санитарно-эпидемиологическому благополучию поселений. Расход горячей воды в жилых зданиях составляет от 20 до 40% общего водопотребления. Горячая вода должна быть безвредна и безопасна для здоровья. Не исключено использование горячей воды для приготовления пищи и напитков при низкой культуре населения.

Существует два варианта обеспечения горячей водой городских квартир.

Закрытая система централизованного горячего водоснабжения. Вода питьевого водопровода нагревается в водо-водяных или пароводяных теплообменниках (бойлерах), расположенных в теплопункте жилого дома. По распределительной сети домовой системы горячего водоснабжения вода распределяется по квартирам. Теплоносителем служит горячая техническая вода или пар, производимые в районных ТЭЦ или квартальных котельных. Горячая вода, подаваемая в квартиры, не имеет прямого контакта с технической водой-теплоносителем и соответствует по составу холодной водопроводной воде. Однако при авариях бойлеров-теплообменников возможен контакт питьевой и технической воды через образующиеся в теплообменных трубках свищи, которые трудно обнаружить.

Открытая система централизованного горячего водоснабжения, совмещенная с централизованной системой отопления. Вода-теплоноситель, подготавливаемая на ТЭЦ или в котельной, направляется одновременно и в систему отопления, и в распределительную сеть системы горячего водоснабжения. Качество горячей воды в кране потребителя зависит от способа водоподготовки и эксплуатации всей системы. Водоподготовка, направленная на умягчение воды, снижение ее агрессивности к материалу труб, осуществляется с использованием различных реагентов, ассортимент которых достаточно велик. Это в значительной мере изменяет как макро-, так и микроионный состав горячей воды, она не отвечает гигиеническим требованиям к химическому составу питьевой воды. Кроме того, постоянная циркуляция воды в отопительной системе приводит к накоплению окалины, вымываемой из отопительных приборов, что ухудшает органолептические свойства горячей воды, особенно если не соблюдается регламент эксплуатации.

В небольших поселениях возможны подготовка воды (химподготовка и нагревание) на ТЭЦ или в котельной и подача ее потребителям по отдельной сети.

Возможна подготовка горячей воды из питьевой в доме или квартире без использования теплообменников с помощью газовых водонагревателей. В этом случае реагентная подготовка воды не проводится.

Выбор варианта - компетенция проектной организации, но при согласовании проекта санитарный врач должен учитывать преимущества первого варианта перед вторым и высокую санитарную надежность подготовки горячей воды без теплообменников.

5.8. Гигиенические вопросы хранения и транспортировки воды в централизованных системах питьевого водоснабжения

Подготовленная на водопроводной станции вода поступает в *резервуар чистой воды.* Резервуары чистой воды подразделяются на запасные, регулирующие, противопожарные; один резервуар может выполнять несколько функций. При выполнении любых функций резервуары обеспечивают надежность и бесперебойность подачи воды потребителю. При большом разнообразии форм и конструкций резервуаров санитарные требования сводятся к герметичности резервуара и его люков, использованию конструкционных и отделочных материалов, разрешенных Минздравом России для контакта с питьевой водой, обеспечению возможности тщательной промывки и дезинфекции резервуара. Время полного обмена воды в резервуаре не должно превышать 48 ч.

Питьевая вода подается потребителю по *распределительной сети.* Распределительная сеть является одним из основных элементов централизованной системы питьевого водоснабжения. От устройства и содержания распределительной сети в значительной мере зависит качество воды, поступающей к потребителю. Речь идет не только о возможности ухудшения органолептических свойств воды, но и об опасности распространения инфекционных заболеваний; не менее четверти водных вспышек кишечных инфекций связаны с неудовлетворительным состоянием распределительной сети водопровода. Распределительная сеть должна обеспечивать бесперебойную подачу воды ко всем точкам потребления и предотвращать загрязнение воды на всем пути ее следования от головных сооружений водопровода до потребителя.

При проектировании распределительной сети нужно определить конфигурацию, или *схему сети.* Схема распределительной сети может быть кольцевой или тупиковой (рис. 5.6). С санитарной точки зрения преимущества имеет кольцевая схема, при которой возможность образования застойных зон значительно меньше. Кольцевая сеть более надежна в эксплуатации, дает большую гарантию бесперебойности подачи воды.

Большое значение для сохранения качества питьевой воды имеет *материал труб* распределительной сети. Трубы могут быть стальными, чугунными, асбоцементными или пластмассовыми.

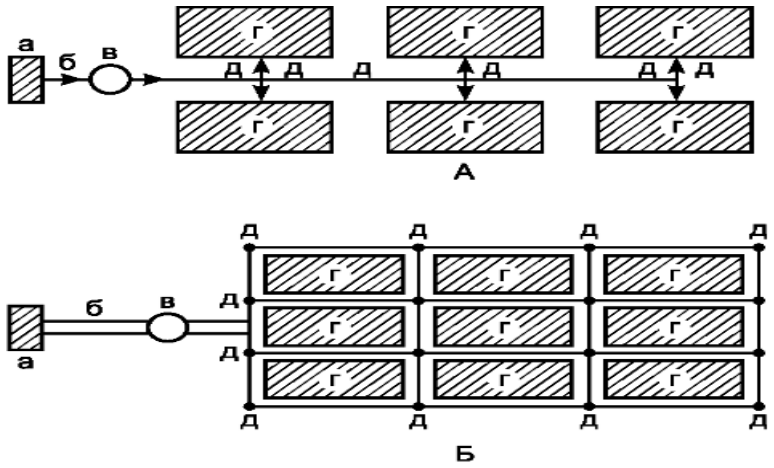


Рис. 5.6. Схема водопроводной сети в поселении.

А - тупиковая схема, Б - кольцевая схема. а - насосная станция; б - водовод; в - водонапорная башня; г - жилые кварталы; д - распределительная сеть.

Во избежание коррозии труб и связанного с этим повышения содержания в воде железа с ухудшением органолептических свойств воды стальные трубы должны быть изнутри покрыты антикоррозийным материалом (цинк или цементный состав). Пластмассовые трубы из различных полимеров с большим количеством технологических добавок могут выделять токсичные вещества. Для строительства питьевых водопроводов можно использовать только трубы, прошедшие санитарную экспертизу и допущенные Минздравом России для контакта с питьевой водой. Для поддержания должного санитарного состояния распределительной сети очень важно соблюдение технического регламента ее промывок, а также ежегодных графиков планово-предупредительного ремонта.

Уязвимыми элементами распределительной сети, способными отрицательно влиять на качество воды, являются *смотровые колодцы*. Эти необходимые элементы для прокладки и эксплуатации сети устраиваются на поворотах, в местах разветвления сети, вводов в дома, а также через определенные расстояния на прямых участках сети. В смотровых колодцах устанавливают пожарные гидранты, водоразборные колонки. По правилам технической эксплуатации в смотровые колодцы не должна поступать вода с поверхности земли, они должны быть *сухими*. Присутствие воды в колодце вызывает коррозию наружной поверхности труб, нарушает герметичность стыковых конструкций труб, что в конечном счете может привести к загрязнению воды, транспортируемой по трубам. Герметичность колодца достигается тщательным выполнением гидроизоляции при его строительстве, установкой специальных крышек и высотной планировкой окружающей территории.

В современных городах с многоэтажной застройкой невозможно одним гидравлическим давлением в водопроводной магистрали обеспечить поступление воды на верхние этажи многоэтажных зданий, поэтому в микрорайонах многоэтажных зданий устраивают *насосные станции подкачки*. Насосные станции подкачки, как и любой дополнительный технический элемент в системе, понижают санитарную надежность сети и должны быть обязательным объектом санитарного надзора.

До настоящего времени по причине технической и гигиенической неграмотности или по недобросовестности с целью восполнения мощности питьевого водопровода к нему иногда подсоединяют технический водопровод, подающий необработанную воду для производственных нужд. Результатом этого, как правило, становится вспышка кишечных инфекций (эпидемия холеры в Астрахани в 1970 г.). Первым признаком соединения технического водопровода с питьевым часто является изменение органолептических свойств питьевой воды, поэтому очень важны внимательное отношение к жалобам населения на качество питьевой воды, их срочное расследование и

анализ (содержание хлоридов и сухой остаток). Для прямого доказательства несанкционированного соединения в сеть технического водопровода добавляют флюоресцеин и отмечают его появление в воде питьевого водопровода.

Соединение питьевого водопровода с техническим допускается только при обоснованной *необходимости подпитки технического водопровода* в чрезвычайных производственных обстоятельствах (авария, пожар и пр.). Технические и организационные условия такого соединения предусмотрены «Правилами технической эксплуатации водопроводов»; среди этих условий - обязательное согласование проекта устройства с санитарно-эпидемиологической службой и информация службы о каждом случае его использования. Конструкция устройства должна предусматривать полное исключение возможности обратного поступления воды (из технического водопровода в сеть питьевого).

Большое значение для поддержания санитарного благополучия распределительной сети имеет производственный лабораторный контроль качества воды в сети. Точки отбора проб воды для производственного лабораторного контроля должны охватывать наиболее уязвимые в санитарном отношении участки сети: наиболее изношенные, тупиковые, проходящие по неблагополучным в санитарном отношении территориям, а также внутреннюю сеть домов, имеющих станции подкачки. Санитарными правилами регламентируется минимальное число проб производственного контроля в распределительной сети в зависимости от обслуживаемого населения. Следует подчеркнуть, что это *минимальное* число, а эффективность производственного контроля должна оцениваться не только по числу проведенных анализов, но и по полноте характеристики качества воды на всем протяжении сети. Большое значение при этом имеют изучение качества воды в динамике и выявление связи качества воды с сезоном года, режимом обработки воды на водопроводной станции, качеством планово-предупредительного ремонта. Кроме плановых анализов проб из сети в порядке производственного контроля, нужно делать анализы проб после ремонта, промывки или дезинфекции участков сети.

ГЛАВА 6 ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

6.1. Гигиенические задачи обеззараживания питьевой воды

Часть патогенных бактерий и вирусов проникает через очистные сооружения и содержится в фильтрованной воде. Эффективность освобождения воды от микробного загрязнения на этапах очистки во многом зависит от характера взвеси, параметры которой весьма непостоянны. Для создания надежного и управляемого барьера на пути возможной передачи через воду кишечных инфекций применяется ее *обеззараживание,* т.е. уничтожение живых и вирулентных патогенных микроорганизмов - бактерий и вирусов.

В практике коммунального водоснабжения используют реагентные (хлорирование, озонирование, воздействие препаратами серебра, меди, йода) и безреагентные (ультрафиолетовые лучи, воздействие импульсными электрическими разрядами, гамма-лучами и др.) методы обеззараживания воды. При выборе метода обеззараживания следует учитывать опасность для здоровья человека остаточных количеств биологически активных веществ, применяемых для обеззараживания или образующихся в процессе обеззараживания, возможность изменения физико-химических свойств воды (например, образование свободных радикалов). Важными характеристиками метода обеззараживания являются также его эффективность в отношении различных видов микронаселения воды, зависимость эффекта от условий среды (pH, температура воды).

6.2. Химические (реагентные) методы

Хлорирование воды в настоящее время получило наиболее широкое распространение благодаря многим техническим, гигиеническим и экономическим преимуществам перед другими методами обеззараживания.

Для хлорирования воды используют различные соединения хлора и разные способы их взаимодействия с водой. Наибольшее распространение получил *жидкий хлор,* который поступает на водопроводные станции в цистернах или баллонах под высоким давлением. Он представляет собой маслянистую темно-зеленую жидкость плотностью 1,4 при 15 °С. При снижении давления жидкий хлор переходит в газообразный, хорошо растворяющийся в воде. Взаимодействие растворенного хлора с водой протекает по следующим реакциям:

$C1_2 + H_2O = HC1 + HOC1$, $HOC1 = H^+ + OC1^-$.

Степень диссоциации хлорноватистой кислоты зависит от активной реакции воды. Обеззараживающее действие оказывают гипохлоритный ион $OC1^-$ и недиссоциированная хлорноватистая кислота.

Кроме жидкого хлора, в практике обеззараживания воды используют ряд его соединений, из которых практическое значение для централизованных систем питьевого водоснабжения имеет *диоксид хлора*($C10_2$). Диоксид хлора - газ желто-зеленого цвета, хорошо растворимый в воде. При 4 °С в воде может раствориться до 20 объемов диоксида хлора. Диоксид хлора в воде практически не гидролизуется, действующим началом является молекула вещества.

Неорганические хлорамины (монохлорамин NH_2Cl и *дихлорамин $NHCl_2$)* широко используют при обеззараживании воды на водопроводах.

Гипохлориты кальция и *натрия* представляют собой соли хлорноватистой кислоты. Действующим началом гипохлоритов является гипохлоритный ион ($OC1^-$). *Хлорная известь* - комплексное соединение, в котором ион кальция связан одновременно с анионами хлорноватистой и хлористоводородной кислот. Свежий технический продукт содержит не более 35% активного хлора. При хранении, особенно в сырости и на свету, хлорная известь теряет активность. Действующим началом гипохлоритов является гипохлоритный ион.

Различная бактерицидность хлорсодержащих препаратов связана с выраженностью их окислительных свойств. Современное представление о сущности окислительно-

восстановительных реакций связывается с переносом электронов в ряду взаимодействующих веществ. Окислительно-восстановительный потенциал хлорсодержащих препаратов, как и их бактерицидная активность, возрастают в ряду хлорамин-хлорная известь-хлоргаз-диоксид хлора.

Процесс взаимодействия хлора с бактериальной клеткой в воде проходит две стадии: сначала обеззараживающий агент диффундирует внутрь бактериальной клетки, а затем вступает в реакцию с белками цитоплазмы, ядерным аппаратом клетки, а также с энзимами клетки, в первую очередь с дегидрогеназами, блокируя SH-группы. В экспериментах показана прямая корреляция подавления активности дегидрогеназ с бактерицидным эффектом. Препараты хлора воздействуют в основном на вегетативные формы бактерий. Спороцидный эффект проявляется в эксперименте при высоких концентрациях хлора и длительном контакте, нереальных для технологии водоподготовки. Высокорезистентны к действию хлора вирусы, а также цисты простейших и яйца гельминтов.

На *эффективность хлорирования* влияет ряд факторов, связанных с биологическими особенностями микроорганизмов, бактерицидными свойствами препаратов хлора, состоянием водной среды, условиями, в которых производится обеззараживание.

Скорость процесса обеззараживания воды определяется диффузией обеззараживающего агента внутрь клетки и отмиранием клеток в результате нарушения их метаболизма. Скорость обеззараживания возрастает с увеличением концентрации обеззараживающего вещества в воде, повышением ее температуры и переходом обеззараживающего агента в недиссоциированную форму, поскольку диффузия молекул через мембрану клетки происходит быстрее, чем гидратированных ионов, образующихся при диссоциации.

Эффективность хлорирования в большой мере зависит и от первоначального количества микробов в исходной воде:

$$N_t = N_o 10^{-kt},$$

где N_o-начальное число бактерий; N_t -число бактерий после t минут контакта с хлором; k - константа скорости отмирания бактерий.

Константа скорости отмирания кишечной палочки под воздействием препаратов хлора колеблется от 0,506 до 0,026 в зависимости от исследуемого штамма. Эмпирически доказано и экспериментально подтверждено, что при наличии в обработанной воде не более 1 - 3 кишечных палочек на 1 л она не содержит возбудителей кишечных инфекций.

Эффективность хлорирования зависит от состава водной среды, в которой проявляется бактерицидное действие этих препаратов. С повышением pH воды бактерицидный эффект уменьшается. Это связано с тем, что с повышением pH возрастает диссоциация хлорноватистой кислоты (наиболее активного действующего начала), а также со снижением окислительно-восстановительного потенциала.

Эффективность обеззараживания снижается в присутствии способных к окислению органических веществ и других восстановителей, а также коллоидных и взвешенных веществ, обволакивающих бактерии и мешающих контакту с ними обеззараживающего агента. Органические вещества, растворенные в воде, в разной степени могут влиять на бактерицидный эффект хлора, что объясняется их способностью к взаимодействию. Азотистые вещества животного происхождения (мочевина, аминокислоты, амины) активно связывают хлор, безазотистые (жиры, углеводы) слабо реагируют с хлором. Интегральным показателем свойств воды, мешающих обеззараживанию, является *хлорпоглощаемость,* измеряемая количеством хлора, необходимого для окисления имеющихся в воде восстановителей. Из этого следует большая зависимость эффекта хлорирования от качества очистки воды - предыдущей стадии водоподготовки. Хлорпоглощаемость прямо пропорциональна также дозе хлора и времени контакта.

Доза и время контакта хлора имеют наибольшее значение среди факторов, связанных с условиями обеззараживания, причем отмечается их сложная зависимость как между собой, так и с другими факторами, влияющими на эффективность хлорирования. Температура среды, в которой производится хлорирование, в практической работе водопроводных станций при соответствии бактериального загрязнения воды источника требованиям ГОСТа «Источники питьевого водоснабжения» на эффективность обеззараживания существенно не влияет.

Множество факторов, определяющих бактерицидный эффект хлора, а также сложные взаимосвязи между ними затрудняют управление процессом обеззараживания питьевой воды. В условиях эксплуатации водопровода можно влиять на дозу обеззараживающего агента. Подбор *оптимальной дозы активного хлора,* под которой понимают его количество, обеспечивающее достаточный эффект обеззараживания при заданном времени контакта, производится опытным путем в лабораторном эксперименте. С изменением качества исходной воды, технологической схемы ее обработки, времени года оптимальную дозу хлора подбирают вновь.

Оптимальная доза активного хлора состоит из количества хлора, необходимого для удовлетворения хлорпоглощаемости воды и бактерицидного действия, и некоторого количества так называемого *остаточного хлора,* присутствующего в обеззараженной воде и свидетельствующего о завершении процесса обеззараживания.

Остаточный хлор наряду с количеством кишечных палочек в воде служит косвенным показателем ее безопасности в эпидемиологическом отношении.

Концентрация остаточного хлора нормируется СанПиН «Питьевая вода» на разном уровне в зависимости от его состояния: для связанного (хлораминного) хлора 0,8-1,2 мг/л, для свободного (хлорноватистая или хлорная кислота, гипохлоритный ион) 0,3-0,5 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.

Необходимо отметить, что остаточный хлор является сигналом достаточности 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 и на то, что остаточный хлор может предотвратить неблагоприятные последствия вторичного загрязнения воды в процессе ее транспортировки по распределительной сети. Низкие концентрации остаточного хлора явно недостаточны для окисления сильно загрязненных грунтовых вод города, которые могут поступить в водопроводные трубы при дефектах сети и авариях. Основой охраны качества питьевой воды в распределительной сети являются техническая исправность сети и соблюдение правил эксплуатации (регулярная промывка, дезинфекция после ремонтных работ, содержание смотровых колодцев и пр.).

Взаимодействие хлора с компонентами обрабатываемой воды является сложным и многостадийным процессом (рис. 6.1). Малые дозы хлора полностью связываются органическим веществом воды, в первую очередь аминами, которые в настоящее время постоянно присутствуют в воде поверхностных источников водоснабжения. С увеличением дозы в воде накапливается остаточный, связанный с аминами хлор. При дальнейшем увеличении дозы количество *остаточного связанного хлора* падает до определенной точки, называемой *точкой перелома* на кривой остаточного хлора. Это падение объясняется потреблением хлораминов и других хлорорганических соединений органическим веществом воды с образованием комплексных соединений, в которых хлор не проявляет активность. 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.*

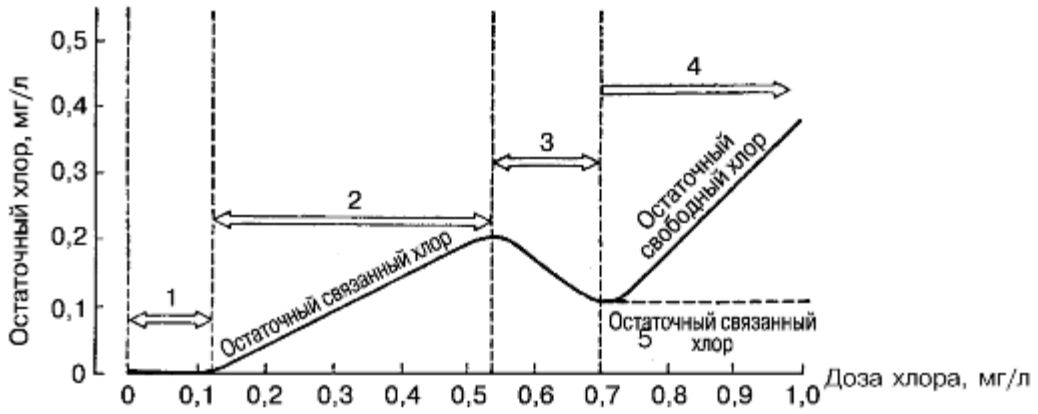


Рис. 6.1. Зависимость величины и вида остаточного хлора от введенной дозы хлора.

1 - потребление хлора органическим веществом; 2 - образование хлорорганических соединений и хлораминов; 3 - разрушение хлорорганических веществ и хлораминов; 4 - совместное присутствие свободного и связанного хлора; 5 - «точка перелома».

Существует несколько способов хлорирования с учетом характера остаточного хлора, выбор которых определяется особенностями 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, порог ощущения запаха которых на несколько порядков ниже порога ощущения запаха составляющих веществ, что ограничивает потребление воды для питьевых целей.

Для предупреждения провоцирования запаха используется способ *хлорирования* с *преаммонизацией,* при котором в обрабатываемую воду вводится аммиак, образующий амины, а 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 необходимо учитывать, что связанный (хлораминный) хлор проявляет бактерицидный эффект примерно в 2 раза медленнее, чем свободный (гипохлоритный) хлор, и обладает более низким (примерно в 1 - 1,5 раза) окислительно-восстановительным потенциалом. Вследствие этого приходится увеличивать время контакта и величину остаточного хлора, что нашло отражение в СанПиН.

Суперхлорирование, т.е. хлорирование избыточными дозами хлора, используется при особой эпидемической обстановке и при невозможности обеспечить достаточное время контакта воды с хлором. При суперхлорировании также не провоцируются запахи в воде, поскольку образовавшиеся на раннем этапе взаимодействия хлора с водой хлорорганические соединения в дальнейшем разрушаются избытком хлора. Однако необходимо удаление избыточного остаточного хлора (дехлорирование) перед подачей воды потребителю, что достигается добавлением к воде гипосульфита, сорбцией хлора на активированном угле или аэрацией.

При обеззараживании воды после переломными дозами *(хлорирование с остаточным свободным хлором)* дозу хлора подбирают в диапазоне 4 (см. рис. 6.1). Этот способ отличается от суперхлорирования более тщательным подбором дозы и поэтому не требует дополнительного дехлорирования. Он дает 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 более высокий бактерицидный эффект при той же дозе активного хлора, не образуется новых запахов и даже исчезают запахи (бензина, меркаптана и пр.), 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.

Гипохлориты можно получать на месте потребления электролитическим путем. В качестве электролитов используются или специально приготовленные растворы хлорида натрия, или природные электролиты - подземные минерализованные и морские воды. Обеззараживание на установках водоподготовки производительностью до 5000 $м^3$/сут возможно прямым электролизом воды при исходном содержании хлоридов не менее 20 мг/л и жесткости до 7 мг-экв/л. Получение гипохлоритов непосредственно на водопроводной станции имеет значительные экономические преимущества и позволяет избежать транспортировки и хранения жидкого хлора - опасного и токсичного вещества.

Для обеззараживания воды на водопроводах, использующих поверхностные источники с очень высоким бактериальным загрязнением, используют так называемое *двойное хлорирование.* Основную дозу хлора вводят в воду перед процессом очистки, а после очистки выполняют заключительное хлорирование. Такой способ положительно оценивается технологами по обработке воды, поскольку в значительной мере снижает обрастание водопроводных сооружений и коммуникаций водорослями. Однако высокая концентрация образующихся при этом хлорорганических соединений не позволяет считать метод двойного хлорирования безупречным. Предшественники хлорорганических соединений - гуминовые кислоты и фульвокислоты, производные фенола, анилина, являющиеся продуктами метаболизма водорослей, постоянно присутствуют в воде поверхностных источников водоснабжения. Хлорорганические соединения в низких дозах не только оказывают общетоксическое действие, но и способны дать эмбриотоксический, мутагенный и канцерогенный эффект (см. Приложение).

Хлорированию как методу обеззараживания воды присущи и другие недостатки. К ним относятся сложность транспортировки и хранения жидкого хлора - взрывоопасного и токсичного вещества, необходимость соблюдения многочисленных требований по технике безопасности, продолжительное время контакта для достижения обеззараживающего эффекта. Некоторые химические вещества техногенного происхождения, например, синтетические ПАВ, могут существенно влиять на эффективность хлорирования.

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

Обеззараживание воды озоном. Эксперименты с использованием бактерицидных свойств озона были впервые проведены в 1886 г. во Франции. Первая в мире производственная озонаторная установка была построена в 1911 г. в Петербурге. В последние десятилетия интерес к применению озона для подготовки питьевой воды усилился. Это связано с тем, что озон не только оказывает бактерицидное действие на патогенную микрофлору, но и способен разрушать многие присутствующие в воде источника водоснабжения химические вещества техногенного происхождения. Ряд крупных водопроводных станций США и Франции используют озонирование. В России озонирование применяется на водопроводах Москвы, Ярославля, Челябинска и других городов.

Озон (O_3) - газ бледно-фиолетового цвета, обладающий характерным запахом. Это один из сильнейших окислителей; он способен окислять все металлы, кроме золота и платиноидов, а также большинство неметаллов. Окисление осуществляет атомарный кислород, образующийся в воде при распаде растворенного в ней озона.

Озон на водопроводных станциях получают с помощью специальных установок (рис. 6.2). Главным технологическим узлом установки является озонатор. Озонатор состоит из двух электродов, между которыми находится воздушное разрядное пространство шириной 2- 3 мм. Один из электродов заземлен, ко второму подведен переменный ток напряжением свыше 1000 В. Воздух, поступающий в озонаторы, предварительно очищают от пыли, освобождают от влаги и охлаждают. Подготовленная

озоновоздушная смесь поступает в барботажные колонны, где осуществляется ее контакт с обрабатываемой водой. Время контакта, необходимое для проявления бактерицидного эффекта, 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 HO_2, OH. Молекулярный кислород и свободные радикалы, являясь сильными окислителями, обусловливают 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.

3

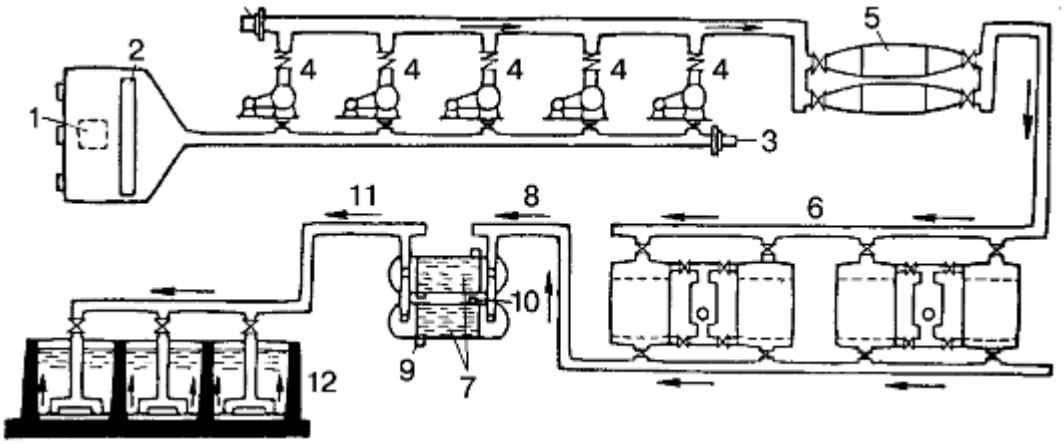


Рис. 6.2. Озонаторная установка.

1 - воздухоприемник; 2 - воздушный фильтр; 3 - предохранительный клапан; 4 - нагнетательные вентиляторы; 5 - охлаждаемые сушители; 6 - адсорбционные сушители; 7 - генераторы озона; 8 - направление движения осушенного воздуха; 9, 10 - соответственно ввод и выпуск охлаждающей воды; 11 - направление движения озоновоздушной смеси; 12 - резервуары для диффузии озона.

Известна высокая эффективность озона относительно присутствуюших в воде цист простейших. Наряду с бактерицидным действием озона в процессе обработки воды происходят обесцвечивание и устранение привкусов и запахов, а также деструкция высокомолекулярных органических соединений.

Механизм бактерицидного действия озона заключается в инактивации бактериальных ферментов, необратимом нарушении структуры ДНК клетки атомарным кислородом, образующимся при распаде озона.

При обработке воды озоном в ней образуются продукты озонолиза органических веществ в виде альдегидов, кетонов, низкомолекулярных карбоновых кислот; среди них наиболее актуален формальдегид. Опасность продуктов озонолиза возрастает в случае комбинации в схеме обработки воды озонирования и последующего хлорирования. При этом образуются хлорированные продукты озонолиза с мутагенными и канцерогенными свойствами.

Косвенным показателем эффективности обеззараживания воды озоном при оперативном контроле служит присутствие в воде остаточных количеств озона на уровне 0,1-0,3 мг/л после камеры смешения (барботажных колонн).

Преимущества озона перед хлором при обеззараживании воды состоят в том, что озон не образует в воде соединений, подобных хлорорганическим, улучшает органолептические свойства воды и обеспечивает бактерицидный эффект при меньшем времени контакта. Широкое внедрение озонирования в практику обработки воды сдерживается высокой энергоемкостью процесса получения озона; озонирование на порядок дороже хлорирования.

Другие бактерицидные вещества, используемые для обеззараживания воды. Практический опыт обеззараживания воды серебром накапливался человечеством на протяжении ряда веков. Работами отечественных и зарубежных ученых установлен высокий бактерицидный эффект серебра уже в концентрации 0,05 мг/л; эффективны рабочие концентрации 0,2-0,4 мг/л и выше. Антимикробное действие серебра охватывает многие виды бактерий и вирусы, но вирулицидный эффект проявляется только при высоких, выше 0,5 мг/л, концентрациях, а спороцидного действия серебро не оказывает.

Механизм бактерицидного действия серебра заключается в блокировании функциональных групп ферментных систем клетки, расположенных в цитоплазматической мембране и в периплазматическом пространстве. Инактивация ферментных групп малыми концентрациями положительных ионов металлов носит название олигодинамического эффекта. В современных установках используется электролитический способ введения серебра. На аноде при этом образуются ионы гипохлорита и перекисных соединений, которые усиливают олигодинамическое действие серебра.

Применение серебра для обеззараживания питьевой воды сдерживают его высокая стоимость, а также то обстоятельство, что его ПДК в воде, установленная по токсикологическому признаку вредности, составляет 0,05 мг/л, что на порядок ниже эффективных по бактерицидному действию концентраций. В связи с этим серебро применяется для обеззараживания и консервации небольших объемов питьевой воды в системах автономного жизнеобеспечения.

Для обеззараживания питьевой воды используют олигодинамический эффект ионов меди. Антимикробные спектры серебра и меди совпадают, но действующие концентрации меди выше, и бактерицидный эффект развивается медленнее.

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.

6.3. Физические (безреагентные) методы

Среди безреагентных физических методов обеззараживания воды наиболее изучены ультрафиолетовые лучи. Кроме того, известен выраженный бактерицидный эффект гамма-излучения, ультразвука, импульсного электрического разряда (ИЭР).

Обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами основано на воздействии биологически активной ультрафиолетовой части спектра на микроорганизмы. Эта часть излучения в диапазоне длин волн от 205 до 315 нм называется бактерицидным излучением. Максимум бактерицидного действия приходится на диапазон 250-270 нм.

Применение ультрафиолетовых лучей для обеззараживания питьевой воды до недавнего времени было ограничено по причине низкой гигиенической надежности и недостаточной экономической эффективности разработанных в начале 50-х годов установок с бактерицидными лампами среднего давления. Лампы этого типа имели высокую энергоемкость, высокую рабочую температуру и низкий коэффициент полезного действия бактерицидного излучения. Последний фактор резко ограничивал возможность использования ультрафиолетовых лучей; гигиеническая эффективность достигалась лишь в воде, содержащей не более 0,3 мг/л железа при мутности не более 1,5 мг/л.

В современных установках применяют лампы, заполненные смесью паров ртути и инертных газов и работающие в режимах низкого и высокого давления. Лампы низкого давления имеют электрическую мощность 2-200 Вт и рабочую температуру 40-150 °С. В лампах этого типа около 30% электрической энергии преобразуется в бактерицидное излучение. Срок службы ламп низкого давления составляет 5000-10 000 ч. В установках с

непогруженными источниками излучения используются лампы с отражателями, в установках с погруженными источниками - лампы с защитными кварцевыми чехлами.

Надежность контроля работы установок ультрафиолетовых лучей обеспечивается датчиками измерения интенсивности ультрафиолетовых лучей в камере обеззараживания, системой автоматики, подающей звуковой и световой сигналы при снижении минимальной заданной дозы, счетчиками «времени наработки» ламп, индикаторами их исправности.

Ультрафиолетовые лучи поглощаются как самой водой, так и веществами, находящимися в растворенном и взвешенном состоянии. Цифровое выражение поглощающей способности, *коэффициент поглощения,* указывает долю бактерицидного излучения, поглощенного слоем воды 1 см. Степень поглощения определяется физико-химическими свойствами обрабатываемой воды, а также толщиной ее слоя. Коэффициенты поглощения природной воды поверхностных источников водоснабжения колеблются в пределах от 0,2 до 0,6, питьевой воды, полученной из подземных источников, - 0,05-0,2, воды поверхностных источников, прошедшей очистку, - 0,15-0,3. На поглощение бактерицидной энергии влияют цветность, мутность воды и содержание в ней железа. Установлено, что с увеличением цветности воды на 1 градус коэффициент поглощения возрастает на 0,07-0,09, а каждые 0,1 мг железа в 1 л воды увеличивает значение коэффициента на 0,01-0,015.

Другие показатели химического состава воды, такие, как жесткость, содержание сульфатов, аммиака, нитритов и нитратов, в обычных концентрациях практически не влияют на поглощение ультрафиолетовых лучей.

Ультрафиолетовые лучи можно использовать для обработки воды с цветностью до 50 градусов, мутностью до 30 мг/л и содержанием железа до 5 мг/л.

Механизм бактерицидного действия ультрафиолетовых лучей заключается в необратимых повреждениях молекул ДНК и РНК микроорганизмов, находящихся в воде. Фотохимическое воздействие предполагает разрыв или изменение химических связей органической молекулы в результате поглощения энергии фотона. В основе вторичных процессов лежит образование свободных радикалов в воде, которые усиливают бактерицидный эффект ультрафиолетовых лучей.

Эффективность обеззараживающего действия ультрафиолетовых лучей зависит в первую очередь от биологических особенностей и количества микроорганизмов в обрабатываемой воде, физико-химических показателей воды, а также условий, в которых осуществляется обеззараживание.

Водные микроорганизмы имеют различную устойчивость к действию ультрафиолетовых лучей. Экспериментальные 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. Вегетативные формы имеют различную устойчивостью к действию ультрафиолетовых лучей. В частности, патогенные микроорганизмы - возбудители кишечных болезней (брюшного тифа, дизентерии и др.) более чувствительны к ультрафиолетовым лучам, чем бактерии группы кишечных палочек. Дозы облучения, необходимые для инактивации 99,9% микроорганизмов в лабораторных условиях, колеблются от 5,2 (шигелла Флекснера) до 11 мДж/см^2 (вирус гепатита А). Различия устойчивости микроорганизмов к действию ультрафиолетовых лучей нужно учитывать при определении количества бактерицидной энергии для эффективного обеззараживания. В расчет дозы включают коэффициент сопротивляемости более устойчивых к воздействию бактерицидного излучения патогенных микроорганизмов.

Ультрафиолетовые лучи в дозах, обеспечивающих бактерицидный эффект, не гарантируют уничтожения возбудителей паразитарных болезней. Это обеспечивается на этапах подготовки воды, предшествующих обеззараживанию (коагуляция, фильтрация и т.п.).

Эффективность обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами в значительной степени зависит от ее исходного бактериального загрязнения; чем выше начальное загрязнение обрабатываемой воды, тем больше требуется бактерицидной энергии для ее эффективного обеззараживания. Микроорганизмы обладают различной чувствительностью к бактерицидным лучам, и среди массы клеток всегда встречаются микроорганизмы с устойчивостью, отклоняющейся от средней величины для данного вида. Таких клеток с повышенной устойчивостью тем больше, чем выше начальная концентрация бактерий. Как показывают экспериментальные исследования, а также практика обработки питьевой воды ультрафиолетовыми лучами на коммунальных водопроводах, соответствие качества воды требованиям СанПиН «Питьевая вода» по микробиологическим показателям гарантируется даже тогда, когда в обрабатываемой воде встречаются отдельные микроорганизмы с повышенной сопротивляемостью.

Эффективность обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами зависит и от количества затраченной бактерицидной энергии.

Ее величина определяется произведением интенсивности бактерицидного облучения на его продолжительность. Это означает, что один и тот же эффект можно получить при малой интенсивности облучения, но большей его продолжительности и, наоборот, при большой интенсивности облучения и малой продолжительности. Необходимо заметить, что обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами происходит в потоке, поэтому продолжительность облучения выражается не через время, а через скорость потока, которая должна быть постоянной. При определении требуемого количества бактерицидной энергии следует учитывать ее поглощение при прохождении лучей через слой воды.

Требуемое количество бактерицидной энергии, а следовательно, и эффективность обеззараживания зависят также от условий, в которых оно осуществляется. Одно из этих условий - ограничение толщины слоя обрабатываемой воды, который должен поглощать не более 10% бактерицидной энергии. При увеличении толщины слоя облучаемой воды количество бактерицидной энергии, обеспечивающей обеззараживание, уменьшается пропорционально его толщине. В расчет обеззараживающей дозы вводят коэффициент использования бактерицидной энергии, учитывающий ее поглощение водой. Коэффициент не должен быть менее 0,9, поскольку использование бактерицидных ламп с более низким коэффициентом не обеспечивает надежного обеззараживания воды. Использование ламп с более высоким значением коэффициента приводит к резкому увеличению габаритов бактерицидных установок, а следовательно, и их стоимости, а также затрудняет создание в них равномерного потока облучаемой воды.

Эффективность обеззараживания ультрафиолетовыми лучами не зависит от pH и температуры воды.

Точный расчет технических параметров бактерицидных установок, учитывающий все основные факторы, является непременным условием успешного обеззараживания питьевой воды.

В технологии получения питьевой воды ультрафиолетовые лучи можно использовать при предварительном и заключительном обеззараживании воды. На этапе предварительного обеззараживания ультрафиолетовые 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. Для эффективного заключительного обеззараживания питьевой воды установка должна обеспечить дозу облучения не менее 16 мДж/см^2 для всего прошедшего объема воды. Совместное применение ультрафиолетовых лучей и хлора повышает надежность обеззараживания воды в отношении вирусов.

Положительные стороны использования ультрафиолетовых лучей - широкий спектр антимикробного действия, отсутствие опасности передозировки, сохранение органолептических свойств воды, минимальное время контакта (секунды).

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

Эффективности и надежности обеззараживания питьевой воды ультрафиолетовыми лучами можно достигнуть лишь при высокой технологической культуре: тщательной оценке качества исходной воды, правильном монтаже и эксплуатации установок.

Ионизирующее гамма-излучение оказывает выраженное бактерицидное действие. В 60-х годах прошлого века было предложено использовать его для обеззараживания питьевой воды. Под действием гамма-излучения в процессе радиолиза воды образуются свободные радикалы, которые и оказывают губительное действие на бактериальную клетку. 90% бактерий погибает при относительно невысоких дозах облучения - 10 000-15 000 Р. Дозы порядка 25 000-50 000 Р вызывают гибель практически всех бактериальных форм. Возбудители кишечных инфекций располагаются по убыванию радиорезистентности в следующем порядке: сальмонелла паратифа В - сальмонелла брюшного тифа - дизентерийная палочка. Дозы облучения, вызывающие полную инактивацию патогенных бактерий, оказались меньшими, чем для кишечной палочки. Это подтверждает санитарно-показательное значение кишечной палочки при контроле обеззараживания гамма-лучами. Эффективная вирулицидная доза в эксперименте составила 100 000 Р.

В установках для обеззараживания воды, по данным зарубежной литературы, можно использовать отработанные тепловыделяющие элементы (твэлы) атомных реакторов, что в значительной мере позволяет снизить капитальные затраты. Однако высокие требования к технике безопасности при эксплуатации установки, отсутствие эффекта последействия и способа оперативного контроля ограничивают использование этого метода в практике централизованного питьевого водоснабжения.

Вопрос о возможности обеззараживания воды *ультразвуком* был поставлен в середине прошлого века. Большинство исследователей объясняют бактерицидное действие ультразвука механическим разрушением бактерий, другие наряду с механическим воздействием отмечают роль химических реакций, вызванных ультразвуком. Единой теории, объясняющей бактерицидное действие ультразвука, не существует.

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. Технологические основы использования ультразвука в водоподготовке не разработаны. Сдерживающим моментом остается трудность конструирования установок большой производительности, достаточной технической надежности в эксплуатации и приемлемой стоимости.

Среди перспективных физико-химических способов обеззараживания питьевой воды большой интерес представляют *ИЭР*. Электрический разряд в жидкости как сложное электрофизическое явление был описан в середине XX века Л.А. Юткиным и назван им электрогидравлическим эффектом. 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 гидравлическими процессами с образованием ударных волн, явлений кавитации, ультрафиолетовых и ультразвуковых импульсов, магнитных и электрических полей. При этом в воде появляются свободные

радикалы. С гигиенических позиций наиболее изучен процесс обеззараживания воды *низковольтным ИЭР (НИЭР).*

Эффективность обеззараживания НИЭР 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 пр.). Энергоемкость НИЭР сопоставима с таковой при озонировании воды.

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

6.4. Консервация питьевой воды

Консервация питьевой воды - это специфический вид обработки, позволяющий долго сохранить нормативные гигиенические показатели воды.

Доброкачественная питьевая вода на объектах автономного жизнеобеспечения является важнейшим условием их успешного функционирования. Как правило, на таких объектах создаются определенные запасы питьевой воды, поэтому нужно надолго сохранить ее безвредность. В автономном режиме находится питьевое водоснабжение многих малых населенных мест, экспедиционных баз, поселков нефтяников, геологов, газовиков и пр. Системы водоснабжения функционируют нерегулярно, что также обусловливает необходимость длительного хранения запасов воды.

Серьезную проблему представляет обеспечение населения доброкачественной питьевой водой во время стихийных бедствий, техногенных катастроф, вооруженных конфликтов, когда местные источники водоснабжения, как правило, загрязнены, а существующие системы водоснабжения выведены из строя. Питьевое водоснабжение обеспечивается привозной водой из заранее подготовленных запасов, а также хранением доставленной воды. Все это прямо связано с обеспечением санитарно-эпидемиологической безопасности населения. *Консервация питьевой воды* позволяет сохранить ее свойства, особенно эпидемическую безопасность, в течение необходимого времени.

Для консервации питьевой воды используют те же приемы и реагенты что и при обеззараживании, выбирая из них те, которые дают эффект последействия.

ГЛАВА 7. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР ЗА ПИТЬЕВЫМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Задачи государственного санитарно-эпидемиологического надзора в области питьевого водоснабжения. Права и обязанности органов государственного санитарно-эпидемиологического надзора изложены в Федеральном Законе «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», а их деятельность регламентируется «Положением о санитарно-эпидемиологической службе», изданном Правительством Российской Федерации.

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за питьевым водоснабжением осуществляется на основе гигиенических нормативов и санитарных правил, обеспечивающих безопасность и безвредность для человека состава воды, подаваемой системами централизованного питьевого водоснабжения и содержащейся в источниках нецентрализованного водоснабжения, открытых для общего пользования.

Система централизованного питьевого водоснабжения должна обеспечивать бесперебойную подачу населению и предприятиям пищевой промышленности в достаточном количестве воды, качество которой соответствует гигиеническим требованиям к питьевой воде. Для этого необходимы выбор источника питьевого водоснабжения; установление границ зоны санитарной охраны источника и санитарного режима на территории и акватории ее поясов; выбор схемы обработки воды, адекватной качеству воды источника водоснабжения и обеспечивающей очистку воды до гигиенических нормативов; проектирование, строительство и эксплуатация систем подготовки, хранения, транспортировки и распределения воды; организация и осуществление постоянного производственного контроля качества воды в месте водозабора, перед поступлением ее в сеть и в распределительной сети водопровода.

Содержание и объем этих мероприятий определяют в процессе проектирования, строительства, приемки водопровода и водопроводных сооружений в эксплуатацию и в процессе их эксплуатации и утверждают в предпроектной, проектно-сметной и эксплуатационной документации каждого водопровода. На всех указанных стадиях санитарно-эпидемиологическая служба осуществляет государственный санитарно-эпидемиологический надзор, содержание и методы которого на разных стадиях различны.

Надзор в процессе проектирования и строительства системы централизованного питьевого водоснабжения. В процессе надзора за проектированием системы питьевого водоснабжения санитарный врач должен решить 3 профессиональные задачи:

- дать санитарную оценку выбора источника водоснабжения;
- оценить санитарную ситуацию при отводе земельного участка (трассы) под строительство водозаборных, водопроводных сооружений и магистральных водоводов;
- провести санитарную экспертизу проекта водоснабжения, в том числе проекта ЗСО.

Решение каждой из этих задач должно завершиться составлением соответствующего *санитарно-эпидемиологического заключения.*

При составлении «Санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии источника питьевого водоснабжения санитарным требованиям» санитарный врач должен руководствоваться требованиями ГОСТа 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения», а также СанПиН 2.1.4.1074 «Питьевая вода». Для составления заключения необходимо проанализировать:

- подробное санитарно-топографическое описание территории водосбора (для поверхностного источника) или зоны питания водоносного горизонта и зоны влияния будущего водозабора (для подземного источника);

- результаты программы расширенных исследований, проведенных в соответствии с СанПиНом 2.1.4.1074-02 (Приложение 1) в виде перечня контролируемых показателей.

База данных для разработки перечня контролируемых показателей складывается из результатов гидрохимических исследований, проведенных на стадии выбора источника водоснабжения, результатов изучения санитарной ситуации на территории ЗСО, результатов исследования воды источника водоснабжения производственной лабораторией водопровода. В перечень должны быть включены также реагенты, используемые в технологической схеме обработки воды на данном водопроводе. Также должны быть представлены гидрогеологическое заключение по установленной форме (для подземного источника), расчет величины водопотребления в сравнении с дебитом выбираемого источника с учетом перспективы развития объекта водоснабжения. Проектировщик должен указать в проекте класс источника водоснабжения в соответствии с требованиями ГОСТа 2761-84.

Для составления «Санитарно-эпидемиологического заключения по отводу участка (трассы) для строительства водозаборных и водопроводных сооружений» санитарный врач должен получить топографические координаты и санитарную характеристику испрашиваемого под отвод участка земли, и ситуационный план с указанием размещения площадки строительства по отношению к селитебной территории с нанесением всех расположенных на данной территории объектов с их экспликацией.

Представленные материалы санитарный врач рассматривает с учетом требований ГОСТа «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения», СанПиН «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» и СанПиН «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

Выбор источника водоснабжения и отвод участка для водозабора и площадки для сооружений водопровода согласуются одновременно. Положительное санитарно-эпидемиологическое заключение по отводу участка определяет возможность подписания акта о выборе площадки (трассы).

При составлении «Санитарно-эпидемиологического заключения по проекту водоснабжения» необходимо изучить все разделы проекта, включая сметно-финансовые расчеты, чтобы убедиться в реальности соблюдения санитарных правил в процессе строительства и последующей эксплуатации водопровода.

В проекте водоснабжения должны быть обоснованы достаточность мощности водопровода для бесперебойного водоснабжения населения, коммунально-хозяйственных нужд населенного места, нужд предприятий пищевой промышленности. Проект водопровода должен учитывать перспективы развития населенного пункта в соответствии с его генеральным планом. Важным вопросом экспертизы проекта водопровода является установление соответствия принятых решений по технологии обработки воды классу источника водоснабжения. Если качество воды источника ниже 3-го класса (по ГОСТу «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения»), надежность предложенных методов обработки воды должна быть подтверждена специальными технологическими и гигиеническими исследованиями.

Обязательной частью проекта питьевого водопровода является проект зоны санитарной охраны. При экспертизе этого раздела следует обратить внимание на соответствие санитарным правилам границ и размеров поясов ЗСО. Перечень мероприятий, направленных на обеспечение должного санитарного режима на территории и акватории ЗСО, должен быть представлен в виде *проекта решения органа местного самоуправления,* согласованного с землепользователями, с указанием сроков исполнения, исполнителей и источников финансирования. Необходимо оценить достаточность оздоровительных и профилактических мероприятий, предусмотренных проектом на территории и акватории ЗСО.

В проекте водопровода должны быть проработаны вопросы отвода и обезвреживания воды, образующейся при промывке и обеззараживании сооружений

водопровода, обезвреживания и удаления осадков из отстойников, а также вопросы размещения, временного хранения хлора и режима работы с ним. Должны быть предусмотрены резервные мощности объектов водоподготовки на случай изменения технологической схемы обработки воды в чрезвычайных ситуациях (загрязнение воды источника водоснабжения).

Строительство водопровода по не согласованным в установленном порядке с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора проектам является санитарным правонарушением и влечет за собой ответственность в соответствии с Законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

В процессе строительства водопровода генподрядчик обязан иметь согласованный с Центром государственного санитарно-эпидемиологического надзора (ЦГСЭН) перечень мероприятий по обеспечению санитарной надежности водопровода и извещать ЦГСЭН о времени осуществления этих мероприятий. Важно также участие санитарного врача в приемке так называемых скрытых работ, определяющих санитарную надежность водопровода при строительстве. К скрытым работам относятся цементация затрубных и межтрубных пространств водозаборных скважин, врезка нового трубопровода в действующую систему водоснабжения, закрытие грунтом мест пересечения водопроводных магистралей и канализационных коллекторов. Необходимо также контролировать результаты пробной откачки воды из вновь сооруженной (реконструированной) водозаборной скважины, дезинфекцию трубопроводов, водозаборных скважин и других сооружений водопровода.

Территориальный центр госсанэпиднадзора должен согласовать номенклатуру строительных материалов, имеющих контакт с обрабатываемой и хранящейся питьевой водой, загрузочных материалов фильтров.

Отклонения от утвержденного проекта в процессе строительства водопровода, связанные с изменением конструкции и места расположения водозабора, технологии обработки воды, мощности водопровода, трассировки магистральных водоводов и мероприятий на территории и акватории ЗСО источника водоснабжения и водопроводных сооружений, подлежат дополнительному согласованию в ЦГСЭН.

Надзор в процессе приемки в эксплуатацию системы централизованного питьевого водоснабжения. Приемка водопровода в эксплуатацию должна проводиться при законченном строительстве водозаборных и водопроводных сооружениях, после организации и обустройства 1-го пояса ЗСО и выполнения плана мероприятий во 2-м и 3-м поясах ЗСО в соответствии с указанными в нем сроками.

Приемка в эксплуатацию водопровода из подземных источников без обработки воды проходит в один этап. Подрядчик представляет в ЦГСЭН паспорта скважин, включающие геолого-литологический разрез с конструкцией скважины и указанием пород и отметок; акты освидетельствования скрытых работ; журнал наблюдений за откачкой воды из скважин; акт о проведении промывки и дезинфекции трубопроводов (сооружений) питьевого водоснабжения; протоколы санитарных анализов проб воды из скважин, взятых в процессе пробной откачки.

Перед приемкой в эксплуатацию водопровода с обработкой воды заказчик должен получить разрешение ЦГСЭН на проведение пробной эксплуатации. Разрешение выдается при условии законченности строительства всех водопроводных сооружений, их промывке и дезинфекции; наличии запаса реагентов в соответствии с требованиями СНиП «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»; укомплектованности штата водопровода кадрами; готовности химической и бактериологической лабораторий к производственному контролю качества питьевой воды.

После достижения в процессе пробной эксплуатации соответствия качества воды требованиям СанПиН «Питьевая вода» оформляется акт о вводе водопровода во временную эксплуатацию с обязательной подписью представителя ЦГСЭН.

Приемка водопровода в постоянную эксплуатацию государственной приемочной комиссией начинается после отработки технологии водоподготовки в процессе временной эксплуатации и при условии соответствия качества обработанной воды требованиям СанПиН «Питьевая вода» при форсированных режимах работы и соблюдении режима на территории и акватории ЗСО источника водоснабжения и водопроводных сооружений.

Приемка в эксплуатацию водопровода без подписи члена комиссии, являющегося представителем органов государственного санитарно-эпидемиологического надзора в акте государственной приемочной комиссии, не допускается.

Надзор и производственный контроль в процессе эксплуатации питьевого водопровода. В процессе эксплуатации владелец водопровода обязан обеспечить бесперебойную подачу воды, качество которой соответствует гигиеническим нормативам, организацию и соблюдение режима на территории и акватории 1-го пояса ЗСО и производственный контроль качества воды в месте водозабора, перед поступлением в распределительную сеть и в точках водоразбора.

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор в процессе эксплуатации водопровода обеспечивается путем периодических санитарных обследований водопроводных очистных сооружений, сооружений для хранения питьевой воды, водоразборов на сети; контроля своевременного прохождения сотрудниками водопровода периодических медицинских осмотров; согласования рабочих программ производственного контроля качества воды с учетом сложившейся санитарной ситуации; методического руководства аналитической лабораторией водопровода; согласования новых строительных материалов, используемых при ремонтных работах, и новых реагентов для обработки воды, не включенных в *«Перечень материалов, реагентов и малогабаритных устройств, разрешенных Госкомитетом санитарно-эпидемиологического надзора РФ для применения в практике».*

Необходимо присутствие представителей ЦГСЭН при промывке, дезинфекции, врезке трубопроводов, дезинфекции и приемке в эксплуатацию после очередной чистки, после текущего и капитального ремонта очистных сооружений и резервуаров чистой воды.

Санитарные обследования могут быть плановыми и внеплановыми. О времени планового обследования руководство водопровода должно быть заблаговременно предупреждено. При проведении планового обследования руководство водопровода должно предоставить представителю ЦГСЭН техническую документацию по эксплуатации объекта, медицинские книжки персонала, обеспечить безопасный доступ к сооружениям, техническим узлам, возможность отбора проб воды на анализ. По результатам обследования составляется *«Акт санитарного обследования»* за подписью представителя ЦГСЭН, проводившего обследование, и представителя администрации водопровода, присутствовавшего при обследовании.

При выявлении нарушения санитарных правил составляется *«Протокол о санитарном право нарушении»* установленной формы с указанием ответственного за отмеченные нарушения и его объяснением.

Методическое руководство аналитической лабораторией водопровода включает контроль за наличием в лаборатории аналитических методик, имеющих метрологическую аттестацию на все показатели качества воды, вошедшие в рабочую программу; контроль за своевременным информированием руководства водопровода об ухудшении качества воды источника водоснабжения, подаваемой в сеть, или в распределительной сети; организацию и проведение сличительных анализов воды лабораториями водопровода и ЦГСЭН.

Руководство предприятия, эксплуатирующего водопровод, обязано известить ЦГСЭН о сроках проведения промывки, дезинфекции новых и отремонтированных трубопроводов, дезинфекции и приемке в эксплуатацию после текущего и капитального ремонта очистных сооружений и резервуаров чистой воды (водонапорных башен).

Документом, разрешающим ввод в эксплуатацию перечисленных сооружений, является *«Акт о санитарной обработке сооружения»,* который подписывается представителями водопровода, строительной организации и ЦГСЭН.

Владельцы водопроводных сооружений обязаны информировать ЦГСЭН об аварийных ситуациях не позднее 6 ч с момента их обнаружения.

При эксплуатации распределительной водопроводной сети необходимо соблюдение двух основных санитарных требований: распределительная сеть должна обеспечить бесперебойную подачу воды ко всем точкам ее потребления и предотвращать загрязнение воды на всем пути ее следования до места потребления. Наиболее уязвимыми участками сети, на которых чаще всего наблюдаются нарушения герметичности, являются уличные водоразборные колонки, пожарные гидранты, поливные краны. Одним из наглядных показателей благополучия служит отсутствие воды в колодцах при этих сооружениях, а также в смотровых колодцах на поворотах и разветвлениях сети. Следует обратить внимание на необходимость поддержания достаточно высокого давления в распределительной сети для предупреждения загрязнения, которое может попасть в систему на всем ее протяжении под действием сифонного эффекта. Своевременное предупреждение и устранение неисправностей в работе водопроводных сетей и аварий на сети - важнейшая задача, стоящая перед эксплуатационно-техническим персоналом предприятия водоснабжения.

Для поддержания качества воды в распределительной сети большое значение имеет регулярная промывка сети (магистралей, труб, водонапорных резервуаров). Промывка сети должна осуществляться по графику в соответствии с правилами технической эксплуатации водопровода. При осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического надзора необходимо анализировать результаты лабораторных исследований воды, полученные при производственном контроле, данные журналов учета аварий и аварийных отключений, журнал актов промывок и заключительной дезинфекции сети и сооружений. Результаты работы на сети нужно сопоставлять с данными о заболеваемости кишечными инфекциями и жалобами населения на качество питьевой воды и перебои в водоснабжении.

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за системами нецентрализованного питьевого водоснабжения, открытыми для общего пользования, осуществляется территориальными ЦГСЭН. В задачу санитарного врача входят наблюдение за осуществлением производственного контроля источников питьевого водоснабжения и периодический анализ качества воды источников. При этом руководствуются требованиями, изложенными в СанПиН «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников».

Производственный контроль технического состояния водозаборных сооружений (колодцев или каптажей общего пользования), а также качества воды источника нецентрализованной системы питьевого водоснабжения является обязанностью органа местного самоуправления или общественной организации населения (например, правления садоводческого товарищества), в собственности или ведении которого находится данное сооружение.

Контроль технического состояния водозаборных сооружений и качества воды автономных систем водоснабжения осуществляется владельцем этих систем.

РАЗДЕЛ 2. САНИТАРНАЯ ОХРАНА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ГЛАВА 8. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

8.1. Виды водных объектов

Под водным объектом понимается *сосредоточение вод на поверхности суши в формах ее рельефа либо в недрах, имеющее границы, объем и черты водного режима.*

Существует много видов водных объектов, резко различающихся по географическим, гидрологическим, гидрохимическим, гидрогеологическим и другим характеристикам. С гигиенических позиций наибольшее значение имеют реки, озера, водохранилища, а также подземные водные объекты, содержащие пресные воды. Эти объекты или их части могут использоваться в качестве источников централизованного и нецентрализованного питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, для рекреационных целей или занятий водным спортом.

Реки различаются по водности, или величине расхода воды (количество воды, проходящее через сечение русла реки в единицу времени). *Крупные реки* (длина более 200 км, расход воды более 1 $м^3/с$) часто используются в качестве источников централизованного питьевого водоснабжения. В то же время они служат приемниками сточных вод как крупных промышленных комплексов, так и больших городов или городских агломераций, расположенных на их берегах. Промышленное загрязнение крупных рек сточными водами может неблагоприятно сказываться на большом удалении от источника загрязнения. Например, загрязнение р. Томь сточными водами Кузбасса вызвало нарушение здоровья жителей г. Юрги, источником питьевого водоснабжения которого была р. Томь, несмотря на удаление водозабора Юрги от источников загрязнения реки на 7-150 км. Крупные реки - это также интенсивно используемые транспортные пути для пассажирских и грузовых судов.

Несмотря на громадные объемы воды, которые несут крупные реки, на хозяйственно освоенных территориях отбор воды из них на промышленные, хозяйственно-бытовые и питьевые нужды оказывается сопоставимым с расходом реки. В некоторых случаях недоучет соответствия водозабора мощности водотока может приводить к экологической катастрофе. Одной из причин резкого обмеления озера Арал в 80-х годах XX века стал колоссальный отбор воды для нужд поливного земледелия из питающих его рек Амударья и Сырдарья.

К *средним рекам* относятся водотоки длиной от 101 до 200 км и площадью водосбора от 1000 до 2000 $км^2$. Средние реки также могут служить источниками централизованного и нецентрализованного питьевого водоснабжения и играют большую рекреационную роль. Как и крупные реки, они могут подвергаться загрязнению сточными водами.

Малые реки длиной менее 100 км составляют большую часть водотоков. Они редко используются для централизованного питьевого водоснабжения, но часто служат источниками нецентрализованного водоснабжения, а также выполняют разнообразные рекреационные функции. К сожалению, в малые реки часто сбрасывают сточные воды мелкие промышленные предприятия, на которых трудно создать эффективные очистные сооружения, а также бытовые сточные воды малых поселений, зачастую без очистки. Указанное обстоятельство в значительной мере ухудшает условия жизни населения на берегах малых рек.

Сильно загрязненные малые реки в свою очередь становятся источником загрязнения средних и крупных рек, притоками которых они являются. Санитарная охрана малых рек - один из актуальных вопросов санитарно-эпидемиологической службы.

Озера - природные водоемы в углублениях суши, заполненные водой разной минерализации. Озера редко служат источниками централизованного питьевого

водоснабжения, но их рекреационная роль велика. Они широко используются для купания, лодочно-парусного спорта, играют большую роль в архитектурно-планировочном оформлении крупных и мелких поселений. Сброс сточных вод промышленности и поселений часто вызывает эвтрофикацию озера - интенсивное развитие водорослей, особенно сине-зеленых, так называемое цветение. Страдает кислородный режим озера вследствие расхода кислорода как на развитие водорослей, так и на окисление их отмерших масс. Большая масса водорослей при цветении может нарушить работу водозаборных сооружений, а их интенсивное отмирание при смене времен года сопровождается ухудшением органолептических свойств воды - повышением цветности, появлением неприятного запаха, снижением прозрачности. Эвтрофикации способствуют малые скорости течения и прибрежные мелководья, на которых вода летом сильно прогревается.

Водохранилища - искусственные водоемы значительной вместимости, образованные обычно в долине реки водоподпорными сооружениями (плотинами) для регулирования стока реки. Строительство водохранилищ получило большое развитие во второй половине XX века в связи с интенсивной индустриализацией и концентрацией промышленного производства и населения. Водохранилища также являются весьма экономичными транспортными путями, часто используются в качестве источников воды для орошаемого земледелия, для получения гидроэлектроэнергии. Водохранилища коренным образом изменяют гидрологический, гидрохимический режим водотока, на котором они сооружены, а также природно-климатические условия окружающей территории. Эти изменения могут быть как позитивными, так и негативными. Большой объем воды в водохранилище обеспечивает успешное разбавление поступающих в него загрязнений. Замедленный водоток способствует интенсивному самоочищению путем седиментации взвешенных веществ, минерализации органического загрязнения, образования и перехода в донные отложения малорастворимых и нерастворимых гидроксидов металлов и пр. Однако формирующиеся донные отложения неблагоприятны с санитарной точки зрения, как и частые большие колебания уровня воды в водохранилище, связанные с работой гидроэлектростанции. Недостаточная и проведенная с нарушением действующих правил подготовка ложа водохранилища приводит к повышению окисляемости воды, появлению всплывающих массивов торфа, деревьев и большой площади мелководий по берегам. В летний период вода на мелководьях прогревается, что обусловливает эвтрофикацию. Мелководий на водохранилище можно избежать при грамотной разработке проекта водохранилища.

Водообмен поверхностных вод на 3 порядка выше, чем водообмен океана и всех подземных вод. Смена речных вод происходит каждые 11 сут, или 32 раза в течение года. Благодаря этому даже при высоком антропогенном воздействии поверхностные водные объекты способны достаточно долго сохранять свои природные свойства. Однако при продолжительном и интенсивном загрязнении накапливающиеся в реках донные отложения становятся источниками вторичного загрязнения.

Подземные водные объекты. Подземные пресные воды активного водообмена, залегающие на глубине до 300-500 м от поверхности земли, используются в качестве источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. Активность их водообмена гораздо ниже, чем активность водообмена поверхностных вод, и составляет 330 лет. Это обстоятельство говорит об их природной «чистоте» в отношении биологического загрязнения. Вместе с тем при антропогенно обусловленном изменении их химического или биологического состава трудно ожидать ликвидации нежелательных нарушений под влиянием процессов самоочищения. Подземные воды имеют большие преимущества для питьевого водоснабжения, поэтому Водным кодексом Российской Федерации их расходование для иных целей, как правило, не допускается. Лишь в исключительных случаях, при достаточности их запасов, их использование для других

целей может быть разрешено специальным распоряжением региональной исполнительной власти.

Для обеспечения надежности источников питьевого водоснабжения из подземных вод очень важно, чтобы объемы их добычи не превышали возможностей эксплуатируемых водоносных горизонтов. Разведанные эксплуатационные запасы подземных вод, пригодных для тех или иных видов водопотребления, в том числе для питьевого водоснабжения, подразделяются на 3 категории по степени изученности:

- освоенные - категория А;
- разведанные - категория В;
- предварительно оцененные - категория C_1;
- выявленные - категория C_2.

Состав и свойства подземных вод категорий А и В изучены достаточно, чтобы судить об их пригодности для питьевого водоснабжения.

Из эксплуатационных запасов подземных вод категории А возможен водоотбор действующими или реконструируемыми водопроводами в пределах утвержденных объемов. Проектирование новых водозаборов должно осуществляться в пределах утвержденных объемов запасов категорий А и В.

Нарушение этого правила, извлечение больших объемов воды неизбежно приведут к истощению водоносного горизонта, а возможно, и к изменению химического состава воды в результате перетока из вышеили нижележащих водоносных горизонтов.

8.2. История охраны водных объектов от загрязнения

Загрязнение водных объектов тесно связано с характерным для XX века процессом индустриализации, способствовавшим возникновению такого мощного фактора загрязнения, как промышленные сточные воды. Индустриализация привела также к высокой концентрации населения в городах (урбанизация), что потребовало в свою очередь гораздо большего количества воды питьевого качества, чем могут дать запасы подземных вод. В качестве источников централизованного питьевого водоснабжения стали использовать поверхностные водные объекты. Однако большие города в свою очередь превратились в мощные загрязнители водных объектов, сбрасывая в них хозяйственно-бытовые сточные воды.

Во второй половине XX века проблема охраны водных ресурсов обострилась. В условиях научно-технической революции масштабы антропогенного, техногенного воздействия на окружающую среду, в том числе и на водные объекты, резко возросли и во многих регионах превысили ассимиляционную способность водных объектов, привели к нарушению естественных процессов их самоочищения.

Воды рек и озер, пригодные практически для всех видов водопользования, составляют лишь 0,0161% общего объема гидросферы планеты, т.е. около 25 000 км^3. Однако в них сбрасывается каждый год более 450 км^3 сточных вод (из которых лишь половина подвергается очистке). Для обезвреживания в природном водном объекте даже биологически очищенных сточных вод требуется многократное разбавление. Большое негативное влияние на поверхностные водные объекты оказывает и так называемое рассредоточенное загрязнение, например поверхностный сток с сельскохозяйственных и лесных угодий, обработанных ядохимикатами, а также поверхностный сток с территорий поселений и промышленных площадок. Таким образом, почти 1/3 годового речного стока на земном шаре испытывает неблагоприятное влияние промышленного загрязнения и в результате оказывается непригодной для многих видов водопользования.

Усугубляет проблему и крайне неравномерное распределение воды на планете. В Европе и Азии, где проживает 70% населения земного шара, сосредоточено лишь 39% мировых запасов речных вод. На Европейскую часть России, где проживает 80% населения, приходится лишь 30% речного стока и всего 8% водных ресурсов страны.

Все это привело к тому, что в настоящее время примерно половина человечества ощущает водный дефицит, но природа этого дефицита, как правило, антропогенная. Среди многих ученых-экологов и экономистов бытует мнение о неизбежности «водного голода», истощения водных ресурсов. Однако всесторонний анализ проблемы показывает, что при условии рационального и комплексного использования водных ресурсов, охраны их от загрязнения и истощения количество воды на планете должно удовлетворить потребности человечества в ней на отдаленную перспективу.

Загрязнение водных объектов привлекало внимание общества и государства. Принципы государственной деятельности по уменьшению загрязнения водных объектов были различны на каждом этапе развития в разных странах.

Первый этап характеризовался *административно-запретительными мерами.* В 1876 г. в Англии был издан закон об охране рек, которым *запрещался сброс* в них твердых и жидких отбросов и сточных вод. Не случайно, что первый в мире закон был издан в Англии - стране, первой вступившей на путь индустриального развития. Аналогичным законом, изданным в 1882 г. в Пруссии, запрещался спуск в реки даже очищенных сточных вод. Несколько позже запретительные законы появились во Франции и России. Однако проведение в жизнь этих законов приводило к ухудшению условий жизни населения, так как мешало строительству канализации в городах. Необоснованность и практическая нецелесообразность указанной политики были предметом критики научной и санитарной общественности.

Начало второго этапа развития проблемы было положено в 1896 г., когда VI Пироговский съезд Общества русских врачей впервые возбудил ходатайство об установлении законодательных *правил сброса сточных вод* в реки. Комиссия Медицинского совета Министерства внутренних дел России под председательством Г. В. Хлопина в 1908 г. разработала проект правил. Их основу составляли «санитарные требования, которым должны удовлетворять сточные воды, спускаемые в водоемы». Местные условия (количество и концентрация сточных вод, особенности водоема-приемника) проектом не учитывались. Проект встретил резкие возражения со стороны врачей и специалистов по водоснабжению и остался неутвержденным. Таким образом, второй этап стал *этапом борьбы за законодательство в области охраны вод и незавершенного спора о принципах этого законодательства.*

После Октябрьской революции в нашей стране создались условия для государственного контроля состояния водных объектов на основе специального законодательства. В 1923 г. Наркомздравом РСФСР было утверждено «Положение о нормах чистоты сточных вод», в основу которого был положен проект, разработанный комиссией под руководством Г.В. Хлопина. Однако положением допускалось отступление от рекомендуемого стандарта чистоты сточных вод, если необходимость этого признавалась местными санитарными органами.

Введение такого примечания ознаменовало начало нового, третьего этапа развития охраны водных объектов. В 1929 г. Наркомздравом РСФСР были утверждены «Санитарные правила РСФСР о спуске сточных вод», в которых наряду с требованиями, предъявляемыми к составу сточных вод, содержалось требование контроля содержания растворенного кислорода в реке и был дан норматив его минимального количества (4 мг/л ниже места спуска сточных вод). Это был *первый гигиенический норматив, относившийся не к сточным водам, а к воде водного объекта.* Он был единственным, но позволял контролировать состояние водного объекта после сброса всех сточных вод, содержащих органические вещества.

Окончательное закрепление позиция нормирования *не состава сточных вод, а качества воды водного объекта* ниже места их спуска получила в Санитарных правилах 1939 г., из которых логически вытекала задача установления *предельно допустимых нормативов качества воды источника* соответственно видам водопользования. Однако правила 1939 г., как и все предыдущие, были узковедомственными. В них нашли

отражение лишь интересы здравоохранения и гигиенические требования. Цель охраны водных ресурсов в современном понимании - обеспечение возможности беспрепятственного водопотребления для всех нужд населения и отраслей хозяйства. С целью координации научной и практической работы, связанной с охраной водных ресурсов, в 1944 г. была организована комплексная научная конференция, в которой приняли участие специалисты всех заинтересованных министерств и ведомств.

Принципиальные положения, одобренные и принятые конференцией, сводились к следующему: 1) охрана водных объектов от загрязнения должна рассматриваться комплексно, с точки зрения создания благоприятных условий водопользования в интересах общественного здоровья и развития всех отраслей народного хозяйства; 2) критерием для признания водного объекта загрязненным следует считать характер и степень ограничения того или иного вида водопользования; 3) единого критерия загрязненности водного объекта быть не может, поскольку виды водопользования многообразны.

Многолетняя практика подтвердила правильность принятых в 1944 г. положений. Принцип дифференциации требований и нормативов был утвержден в ряде правительственных документов. В 1961 г. Министерством здравоохранения СССР при участии других ведомств были разработаны «Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», в которых каждому ведомству-водопотребителю была предоставлена возможность определить свои интересы на основе самостоятельно разработанных нормативов и требований. Таким образом, правила стали документом общегосударственного значения, впервые успешно сочетающим охрану водных ресурсов с их рациональным использованием, а регулирование государственных нормативов качества воды было официально отнесено к компетенции государственных органов.

Государственный характер охраны водных ресурсов от истощения и загрязнения, а также их комплексная и дифференцированная охрана нашли наиболее полное отражение в «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» (1974). Эти правила были утверждены Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР, Министерством здравоохранения СССР и Министерством рыбного хозяйства СССР и относились к межведомственным документам. Было предусмотрено, что по мере разработки специальных требований к охране вод, используемых для целей сельского хозяйства, промышленности и других отраслей народного хозяйства, правила могут быть дополнены соответствующими разделами. В последующем с изменением социально-политических условий и органов государственного управления изменялась административная принадлежность правил. К сожалению, они стали лишь правовым подзаконным актом ведомства по охране окружающей среды, но методические основы правил 1974 г. в действующем документе сохранились.

8.3. Современные правовые основы охраны водных объектов

Водные ресурсы нашей страны в соответствии со ст. 9 Конституции Российской Федерации используются и охраняются как основа жизни и деятельности народов, проживающих на ее территории. В 1995 г. был принят Водный кодекс Российской Федерации, в соответствии с которым водные объекты и их водные ресурсы являются федеральной государственной собственностью. Охрана водных объектов от загрязнения, засорения и истощения носит государственный характер. Водным кодексом обязанность осуществления мероприятий, направленных на охрану водных объектов, возложена на граждан и юридических лиц, осуществляющих те или иные виды водопользования. Государственный контроль использования, охраны и восстановления водных объектов и их водных ресурсов осуществляется федеральным органом исполнительной власти.

Среди более чем двух десятков видов водопользования Водный кодекс отдает приоритет питьевому и хозяйственно-бытовому водопользованию и утверждает, что для этих целей должны использоваться защищенные от загрязнения и засорения водные

объекты. Оценку пригодности водного объекта для питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования Водный кодекс возлагает на государственный орган санитарно-эпидемиологического надзора. Таким образом, санитарная охрана водных объектов питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного назначения является частью государственной системы мер по эксплуатации и охране водных ресурсов страны.

Водные объекты, используемые в целях питьевого, хозяйственно-бытового водоснабжения, для купания, занятий спортом, отдыха, в лечебных целях, в том числе водные объекты, расположенные в черте городских и сельских поселений, в соответствии с Федеральным Законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» не должны являться источниками биологических, химических и физических факторов вредного воздействия на человека. Критерии безопасности и безвредности для человека водных объектов устанавливаются *санитарными правилами.* Для государственного надзора за соблюдением санитарных правил существует система мероприятий, носящая название *«санитарная охрана водных объектов».* Это *совокупность мероприятий, обеспечивающих такое состояние водных объектов, которое позволяет использовать их для питьевого водоснабжения населения, занятий спортом и купания, в лечебных целях, а также сохраняющих за ними значение положительного фактора в формировании микроклимата населенных мест и в их архитектурном облике.*

В настоящее время отношения в области санитарной охраны водных объектов регулируются несколькими федеральными законами, важнейшими из которых являются Водный кодекс, Закон «Об охране окружающей среды», Закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Основные нормативные правовые документы в этой области - СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод», СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения», СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения». Действенность санкций санитарно-эпидемиологического надзора в значительной мере определяется наличием и уровнем нормативной базы факторов загрязнения водных объектов. В нормативных документах ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» и ГН 2.1.5.1316-03 «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», а также в официально изданных в последующие годы дополнениях к указанным документам содержатся гигиенические нормативы допустимого содержания в воде водных объектов более чем 2000 химических веществ и соединений. Санитарный врач должен быть знаком и с нормативным правовым документом в области проектирования, строительства и оборудования канализационных сооружений СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения».

Ответственность за нарушения водного законодательства регламентируется соответствующими статьями Уголовного кодекса, Гражданского кодекса, а также Кодекса об административных правонарушениях.

Таким образом, санитарно-эпидемиологическая служба страны располагает развитой законодательной и нормативной правовой базой для предупреждения неблагоприятного влияния водных объектов на здоровье и условия жизни населения.

ГЛАВА 9. ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

9.1. Основные источники загрязнения водных объектов

Основными источниками загрязнения водных объектов являются промышленные и городские сточные воды, дренажные воды с орошаемых земель, сточные воды животноводческих комплексов, организованный (ливневая канализация, дренажные воды) и неорганизованный поверхностный сток с территории поселений, промышленных площадок и сельскохозяйственных полей, водный транспорт, твердый сток с эрозированных земель (рис. 9.1).

Сточными называются воды, образующиеся в процессе хозяйственно-бытовой или производственной деятельности человека.

9.2. Промышленные сточные воды

Сточные воды промышленных предприятий, или промышленные сточные воды, подразделяются на 3 вида. К 1-му виду относятся производственные сточные воды, образующиеся в результате непосредственного использования воды в технологических операциях в качестве реагента, растворителя и т.п. Эти воды загрязнены теми веществами, которые участвуют в технологическом процессе. 2-й вид - воды от вспомогательных операций и процессов, образующиеся при поверхностном охлаждении технологической аппаратуры и силовых агрегатов. Эти воды, как правило, не загрязнены, но имеют повышенную температуру. Возможно непредвиденное загрязнение этих вод, например при нарушении целостности змеевиков теплообменных аппаратов. К 3-му виду относятся воды от подсобных и обслуживающих цехов (склады сырья и готовой продукции, транспортировка сырья, топлива, котельные и т.п.). Эти воды могут быть загрязнены самыми различными веществами и в разной степени.

Режим образования промышленных сточных вод, их состав и концентрация зависят от вида и количества вырабатываемой продукции, технологии производства, применяемого оборудования, числа рабочих смен и других факторов.

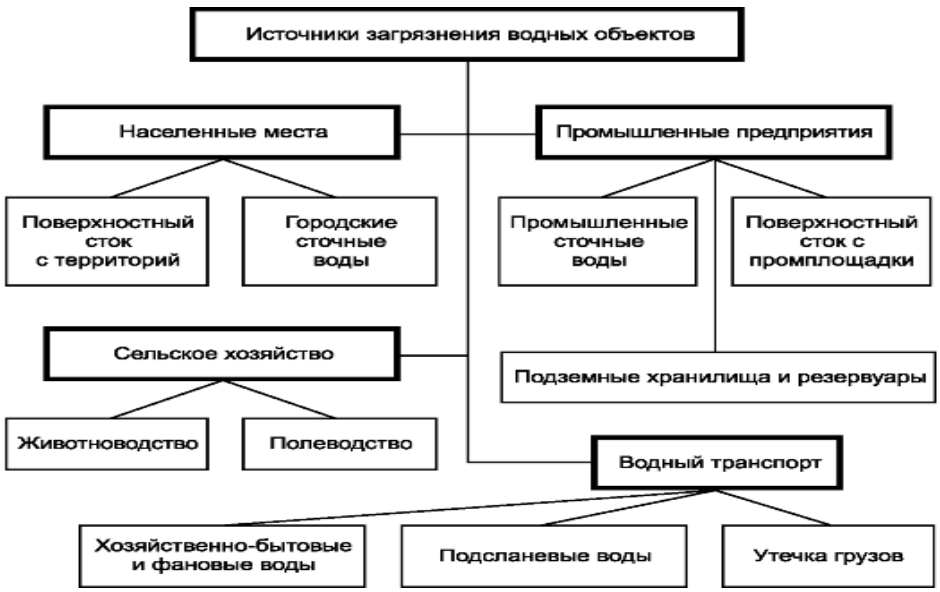


Рис. 9.1. Основные источники загрязнения водных объектов.

Даже на предприятиях одного и того же производственного профиля состав и концентрация сточных вод могут значительно различаться.

Количество промышленных сточных вод различных производств колеблется в весьма широких пределах. В некоторых производствах, несмотря на относительно небольшой расход воды на единицу продукции, общий сброс отработанных вод ввиду огромного объема производства весьма большой и иногда исчисляется сотнями и даже тысячами кубических метров в сутки.

При крайнем разнообразии состава и свойств промышленных сточных вод большее санитарное значение имеют сточные воды наиболее водоемких производств или воды, несущие в себе загрязнения, особенно опасные для здоровья человека и в большой мере ограничивающие питьевое и культурно-бытовое водопользование. Ниже приводится характеристика условий образования и состава сточных вод некоторых отраслей промышленности, загрязняющих водные объекты в наибольшей степени.

Сточные воды нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Добыча и переработка нефти связаны с образованием огромного количества сточных вод. Постоянный рост добычи нефти, развитие водоемкой нефтеперерабатывающей промышленности влекут за собой дальнейшее увеличение их объемов. Углубление переработки нефти, возникновение на ряде заводов нефтехимических производств приводят к усложнению состава стоков, что затрудняет их очистку.

Основную массу сточных вод нефтепромыслов составляют пластовые воды. Их объем составляет 10-25% добытой нефти. Для отделения пластовой воды нефть подвергают термо- и электрохимической обработке.

Пластовые воды имеют разнообразный химический состав, который зависит от месторождения нефти. Сухой остаток исчисляется сотнями граммов на 1 л воды, содержит нефть (до 1200-2000 мг/л), взвешенные вещества (до 1500 мг/л) и сероводород.

Разнообразие технологических процессов на нефтеперерабатывающих заводах определяет сложность условий формирования и состава сточных вод, которых насчитывается до 10 видов. Все стоки поступают в две системы канализации, одна из которых объединяет воды, используемые в оборотном водоснабжении, вторая - высокоминерализованные воды, требующие комплексной очистки.

Наибольшее санитарное значение имеют сточные воды электрообессоливающих установок (ЭЛОУ). Содержание нефти в этих стоках достигает 30-40 г/л, хлоридов - 10-15 г/л. Высокая минерализация этих вод не позволяет использовать их в оборотном водоснабжении. Остальные виды сточных вод нефтеперерабатывающих заводов содержат нефтепродукты - от нескольких граммов до сотен миллиграммов на 1 л, парафины, сероводород, аммиак, меркаптаны, сульфиды, фенолы. БПК колеблется от 100 до 850 г O_2/л, ХПК от 150 до 1700 г О/л.

При недостаточной очистке сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, их влияние на водные объекты выражается в появлении нефтяной пленки на поверхности воды, отложении тяжелых нефтепродуктов на дне, появлении «керосинового» запаха в воде. Под влиянием волнений, ветра нефтяная пленка сгоняется к берегам и загрязняет прибрежную растительность. Нефть, выпавшая на дно водного объекта, становится источником вторичного загрязнения. Даже в паводок река не освобождается от донных отложений, нефтяное загрязнение лишь растягивается по дну на большее расстояние.

Запахи воды могут быть вызваны ничтожными количествами нефти; пороговые концентрации по запаху для большинства нефтепродуктов составляют 0,1-0,3 мг/л. «Керосиновый» запах - один из тех показателей, на которые прежде всего жалуется прибрежное население и который препятствует использованию воды для хозяйственно-бытовых и рекреационных целей. Ниже спуска сточных вод нефтезаводов даже без пленки нефтепродуктов на поверхности «керосиновый» запах в летний период обнаруживается на расстоянии десятков километров, а зимой - на значительно большем. Способность придавать воде запах положена в основу нормирования содержания нефтепродуктов в воде.

Для того чтобы вода водного объекта ниже спуска сточных вод предприятий нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности в местах водопользования не имела запаха, необходимо освобождение сточных вод от плавающей, эмульгированной нефти, а в большинстве случаев и от растворенных нефтепродуктов, а также от сероводорода, сульфидов, фенолов. Спуск сточных вод нефтепромыслов, помимо загрязнения водных объектов нефтью, может вызвать засоление воды вследствие высокой минерализации пластовых вод.

С целью защиты водных объектов от загрязнения сточными водами нефтепромыслов и нефтеперерабатывающих заводов необходимо проведение комплекса технологических и санитарно-технических мероприятий, в основе которого лежит максимальное использование очищенных стоков в оборотной системе водоснабжения. За последние десятилетия удельный расход воды на переработку нефти уменьшился примерно в 100 раз. Средние удельные расходы сточных вод на нефтеперерабатывающем заводе зависят от его профиля и колеблются от 2 до 3 $м^3$ на 1 т нефти; на передовых предприятиях они составляют 0,8-1,5 $м^3$/т.

Целлюлозно-бумажная промышленность занимает важное место в хозяйственном комплексе страны. Получение целлюлозы, а также бумаги и картона - весьма водоемкий процесс. Целлюлозно-бумажные предприятия потребляют воду в среднем 300-350 $м^3$/т продукции, а по отдельным видам продукции - до 600 $м^3$/т.

В технологическом отношении различают кислотный (сульфитный) и щелочной (сульфатный) способы получения целлюлозы. Строительство новых и реконструкция действующих предприятий предусматривают в основном сульфатный метод получения целлюлозы. Образование сточных вод на сульфатно-целлюлозных предприятиях происходит при всех технологических операциях. В сточных водах много взвешенных веществ, растворенных органических соединений, в том числе высокостабильных и дурно пахнущих соединений серы.

При канализовании предприятий целлюлозно-бумажной промышленности сточные воды разделяют на несколько потоков. Каждый поток подвергается локальной очистке от основных загрязнений. Несмотря на большие различия сточных вод отдельных цехов как по составу, так и по концентрации, все они после локальной должны подвергаться и биологической очистке.

Однако даже при 90-95% технической эффективности биологических очистных сооружений (по $БПК_5$) очищенный сток имеет высокую цветность (до 400 градусов), запах исчезает при разведении в 200 раз, ХПК составляет 280-350 мг О/л, $БПК_5$ - 15-20 мг $О_2$/л. При сбросе таких вод в водные объекты на расстоянии ниже даже 20 км вода имеет неприятный запах, исчезающий при разбавлении в 2- 5 раз; в 3-4 раза возрастает ее цветность, содержание взвешенных веществ увеличивается в десятки раз, резко снижается содержание растворенного кислорода.

Сточные воды черной металлургии образуются на собственно металлургическом, железорудном и коксохимическом производствах. Черная металлургия является крупнейшим потребителем воды. В настоящее время на ее долю приходится до 15% общего объема промышленного водопотребления, несмотря на некоторое снижение удельного расхода воды на единицу продукции и развитие систем водооборота. На металлургических заводах около 75% воды расходуется на охлаждение продукта или печей и машин. Наибольшее количество сточных вод образуется в доменном, сталеплавильном и прокатном цехах.

В доменном цехе основное количество сточных вод образуется при очистке доменного газа, содержащего большое количество пыли и газообразных веществ. На 1 т чугуна приходится 20 $м^3$ сточных вод температуры 40-50 °С, имеющих бурую или темно-серую окраску и содержащих 1000-4000 мг/л взвешенных веществ. При охлаждении чугуна на разливочных машинах на 1 т чугуна образуется 3-4 $м^3$сточных вод, содержащих взвешенные вещества (в среднем 2000 мг/л) и имеющих щелочность до 2810^{-3}экв/л. На

остальных агрегатах доменного цеха на 1 т чугуна образуется 3-4 $м^3$ стоков, загрязненных взвешенными веществами.

Сточные воды сталеплавильного производства образуются в результате мокрой очистки газовых выбросов. В зависимости от метода выплавки количество стоков колеблется от 3 до 15 $м^3$ на 1 т стали. Они загрязнены мелкодисперсными взвешенными веществами в концентрации от 50 до 1500 мг/л.

В прокатных цехах вода используется в основном для охлаждения конструкций и механизмов, а также для смыва и транспортировки окалины. Содержание взвешенных веществ в стоках достигает 220 мг/л, масел - от 30 до 170 мг/л.

К сточным водам металлургической промышленности относятся также те, которые образуются на горнообогатительных и агломерационных фабриках. Сточные воды горнообогатительных фабрик содержат значительное количество взвешенных веществ и остаточные количества флотореагентов, в качестве которых используются органические вещества самых различных классов. Эта вода обычно отстаивается в шламонакопителях и затем повторно используется в производстве. Сточные воды агломерационных фабрик образуются при очистке отходящих газов, гидросмыве и гидротранспорте. Количество стоков 0,5-0,6 $м^3$ на 1 т агломерата, загрязнения представлены взвешенными веществами и солями кальция.

Наиболее опасная в санитарном отношении категория сточных вод заводов черной металлургии образуется в травильных цехах при обработке кислотами поверхностей металлических изделий. При этом образуются отработанные травильные растворы и промывные воды. Количество травильных растворов составляет 0,5 $м^3$, промывных вод - 3 $м^3$ на 1 т литья. Отработанные растворы содержат 30-100 г/л свободной серной кислоты, 100-300 г/л железного купороса, имеют температуру до 80 °С. Концентрация кислоты в промывных водах 0,6- 0,8 г/л, солей железа до 2,5 г/л.

Влияние сточных вод заводов черной металлургии на водные объекты выражается прежде всего в увеличении содержания взвешенных веществ, крупнодисперсные фракции которых оседают вблизи выпуска и образуют мощные донные отложения, способные стать источником вторичного загрязнения воды. Мелкодисперсные фракции взвешенных веществ могут разноситься на большие расстояния и приводить к нарушению процессов естественного самоочищения. Кислые сточные воды, снижая щелочность воды, также способствуют нарушению санитарного режима водного объекта; в этом же направлении действует повышенная температура общего стока металлургического комбината. Токсичные вещества содержатся в таком стоке в относительно невысоких концентрациях, тем не менее они могут оказать неблагоприятное влияние на условия водопользования населения, так как общий объем стока весьма велик.

Приведенные примеры свидетельствуют о крайнем разнообразии состава, объема и режима образования и отведения промышленных сточных вод. Даже на однопрофильных предприятиях характеристики сточных вод могут в значительной мере различаться из-за различного времени их строительства, обусловливающего особенности технологических процессов. Для эффективного санитарного надзора в области охраны водных объектов нужно знать методику гигиенического изучения промышленных сточных вод.

Методика гигиенического изучения условий формирования, состава и свойств сточных вод промышленного предприятия

Разнообразие состава, концентраций и свойств промышленных сточных вод требует детального изучения условий формирования и состава стоков каждого производства.

Приоритетные показатели загрязнения сточных вод некоторых отраслей промышленности:

- целлюлозно-бумажная промышленность - фенолы, формальдегид, метанол, скипидар, сульфиды, хлороформ, ртуть, фурфурол, лигнины;
- нефтедобыча, нефтепереработка - фенолы, нефтепродукты, минеральные соли, аммонийный азот, синтетические ПАВ (СПАВ);

- цветная металлургия, в том числе горнорудные и обогатительные предприятия, - фтор, мышьяк, аммонийный азот, роданиды, цианиды, сульфаты, хлориды, флотореагенты;

- угольная промышленность - фенолы, нафтолы, ксиленолы, ацетон, флотореагенты;

- производство синтетических полимеров - фенолы, формальдегид, циклические углеводороды, алифатические спирты, пирановые и диоксановые гетероциклические соединения;

- кожевенная промышленность - фенолы, хром, дихлорбензол, хлориды, сульфаты;

- легкая, пищевая промышленность - СПАВ, нефтепродукты, окисляемость.

В современных условиях модернизация существующих технологических процессов и создание новых происходят настолько быстро, что данные литературы и даже нормативные документы редко могут играть существенную роль.

Условия формирования сточных вод отражены в технологическом регламенте и данных санитарного обследования производства. На действующем производстве эти условия часто отличаются от установленных регламентом, поэтому два указанных источника не заменяют, а дополняют друг друга. При анализе полученных материалов выясняют состав сточных вод, режим их образования и условия отведения. Состав сточных вод формируют сырье, реагенты, используемые в технологическом процессе, конечные и промежуточные продукты производства. Как правило, имеется комбинация перечисленных источников.

Периодичность образования промышленных сточных вод зависит либо от режима работы предприятий (сезонный, одно-, двух- и трехсменный), либо от режима технологического процесса. Во втором случае возможно равномерное, неравномерное или периодическое образование сточных вод (например, залповые сбросы отработанного электролита из травильных или гальванических ванн).

Условия формирования сточных вод на разных предприятиях могут весьма различаться. Реже на предприятии имеется одна общая канализационная сеть, собирающая хозяйственно-фекальные и промышленные воды; чаще эти воды собирают раздельно. Для лучшей локальной очистки от различных видов загрязнений организуют несколько сетей промышленной канализации, например для сильно минерализованных вод, не содержащих высокотоксичных веществ, кислых и щелочных сточных вод, высокотоксичных сточных вод, сточных вод от охлаждающих агрегатов, обычно не несущих загрязнений.

Нормативы удельных расходов сточных вод, т.е. их количества на единицу сырья или конечной продукции, разработаны далеко не для всех отраслей промышленности. Фактические расходы на отдельных однотипных предприятиях могут значительно различаться. Получить истинные данные для конкретного предприятия можно лишь путем непосредственного замера количества сточных вод. Результаты измерений дают возможность определить суммарный сменный или суточный расход сточных вод, а также режим спуска, одним из выражений которого является коэффициент неравномерности, т.е. отношение максимального расхода за короткий (в пределах часа) период к среднесуточному или среднемесячному расходу.

Достоверность качественной характеристики сточных вод определяется правильностью отбора проб, адекватностью методик их анализа и повторностью анализов. Разовые пробы не могут дать даже приблизительного представления о составе стоков, поэтому необходим отбор средних или средне пропорциональных проб. Среднесменная проба составляется путем объединения в одной бутыли равных объемов 8-24 проб, взятых в течение смены. Если при изучении технологического процесса выясняется, что состав стоков существенно не изменяется в течение суток, а предприятие работает в 2 или 3 смены, отбирается среднесуточная проба.

При резких колебаниях расхода сточных вод в течение смены (суток) средняя проба не дает представления об их составе. В таких случаях организуется отбор средне

пропорциональной пробы, которая отличается от средней тем, что объем каждой порции пропорционален расходу стоков в это же время.

При спуске сточных вод из периодически опорожняемых резервуаров (травильные и гальванические ванны) достаточно троекратного отбора проб в начале, середине и конце сброса.

Данные, полученные в результате обследования предприятия, включаются в его санитарный паспорт и служат для определения условий сброса сточных вод в водные объекты, а также разработки мероприятий по охране водных объектов от загрязнения.

9.3. Городские сточные воды

В результате использования населением водопроводной воды для удовлетворения культурно-бытовых и физиологических потребностей и последующего поступления использованной воды в канализационную сеть через санитарно-технические приборы образуются хозяйственно-бытовые сточные воды. Они загрязнены физиологическими выделениями человека, бытовыми, кухонными отходами, домовым мусором, в результате чего резко изменяются как их состав, так и свойства.

Большое санитарное значение имеет поступление в общую канализационную сеть города сточных вод больниц, общественных бань. Прачечные, фабрики химчистки и другие предприятия коммунального хозяйства, а также промышленные предприятия, расположенные в городской черте, часто сбрасывают свои стоки в городскую канализацию. В связи с этим сточные воды городской канализации называются *«городские сточные воды».* Они представляют собой смесь хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. В целом по стране из общего объема водоотведения городских систем канализации промышленные сточные воды составляют 40%.

По физическому состоянию в составе городских сточных вод можно выделить нерастворимые примеси, среди которых крупная взвесь (размер частиц более 100 мкм), суспензии, эмульсии, пены (размер частиц от 100 до 0,1 мкм), коллоидные примеси (размер частиц от 0,1 до 0,001 мкм) и растворенные вещества - молекулярно-дисперсные частицы (размер частиц менее 0,001 мкм).

По химической природе загрязнения городских сточных вод делятся на минеральные (песок, глина, растворенные минеральные соли, кислоты и щелочи) и органические, которые в свою очередь могут быть растительного (основной элемент этого рода загрязнений - углерод) и животного происхождения со значительным количеством азотистых соединений. Из этой массы загрязнений на долю органических веществ приходится 58%, на долю минеральных - 42%.

Городские сточные воды имеют чрезвычайно высокую микробную загрязненность. Разнообразная микрофлора включает в себя дрожжевые и плесневые грибы, мелкие водоросли, яйца гельминтов, разнообразные бактерии и вирусы, в том числе патогенные. Количество бактерий в 1 мл бытовых сточных вод исчисляется миллионами и десятками миллионов, а титр кишечной палочки равен 10^{-5}-10^{-7}.

Для решения вопроса о сбросе городских сточных вод в водный объект нет необходимости исследовать их состав, так как он довольно постоянный (табл. 9.1) и различия могут быть лишь в концентрации, которая зависит от нормы водоотведения.

Таблица 9.1. Количество загрязнений от 1 жителя, поступающих в канализацию за сутки

Ингредиенты	Количество загрязнений, г
Взвешенные вещества	65
$БПК_5$ неосветленной жидкости	54
$БПК_5$ осветленной жидкости	35
БПК неосветленной жидкости полн	75
БПК осветленной жидкости полн	40
Азот (N) аммонийных солей	8

Фосфаты (P_2O_5)	3,3
В том числе от моющих средств	1,6
Хлориды (С1)	9
ПАВ	2,5

Промышленные сточные воды принимаются в городскую систему канализации с ограничениями. Не принимаются сточные воды, содержащие токсичные вещества, неблагоприятно влияющие на процесс биологической очистки, выделяющие взрывоопасные газы и т.п. Тем не менее присутствие в городском стоке промышленных сточных вод сообщает ему разнообразие состава, неравномерность объема и концентрации.

Поверхностный сток с территорий населенных мест и промышленных площадок до недавнего времени относили к категории условно чистых вод. Выпуск поверхностного стока запрещался лишь на участках водных объектов, специально отведенных для купания. Наблюдения последних лет показали, что дождевые и поливочно-моечные воды, стекающие с городских и промышленных территорий, являются существенным источником загрязнения водных объектов. С дождевым стоком в реку может вноситься до 36% всех загрязнений. В Сиэтле (США) один из источников городского водоснабжения - Зеленое озеро - был выведен из строя в результате поступления в него дождевых вод с прилежащих территорий.

Поверхностный сток складывается из дождевых, талых и поливочно-моечных вод. На его загрязненность влияют многие факторы, в первую очередь уровень благоустройства территории, плотность населения, интенсивность движения транспорта и пешеходов. Эти показатели постоянно изменяются в процессе урбанизации и социального развития городов, что обусловливает изменчивость характера и концентрации загрязнений поверхностного стока. Тем не менее исследования разных авторов позволяют дать некоторую усредненную количественную характеристику загрязненности поверхностного городского стока. Содержание взвешенных веществ составляет 1,5- 6 г/л, органических веществ - $БПК_5$ - 40-120 мг O_2/л, ХПК - 400- 750 мг О/л, нефтепродуктов - 20-25 мг/л. С большим постоянством в поверхностном стоке с городских территорий содержатся соединения тяжелых металлов, волокна асбеста. Коли-титр поверхностного стока городских территорий обычно составляет 10^{-1}-10^{-6}, что в 10- 100 раз выше, чем в бытовых сточных водах.

Поверхностный сток с промышленных площадок имеет, как правило, более сложный состав, а концентрация загрязнений в нем выше, чем в городском стоке. Содержание взвешенных веществ может достигать десятков граммов на 1 л. Высокие значения БПК наблюдаются в поверхностном стоке от предприятий легкой и пищевой промышленности - мясокомбинатов, кожевенных и молочных заводов, текстильных предприятий. С золоотвалов ТЭЦ атмосферными осадками вымываются фенолы, содержание которых в поверхностном стоке может достигать сотен миллиграммов в 1 л.

Формирующиеся в зонах выпусков поверхностных стоков донные отложения становятся вторичными источниками загрязнения воды соединениями тяжелых металлов, определяющими повышенное фоновое содержание в воде соответствующих ингредиентов. Образуя труднорастворимые комплексы, соединения тяжелых металлов практически не задерживаются на традиционных очистных сооружениях водопроводов.

9.4. Сельскохозяйственное производство

Мощным источником загрязнения водных объектов является современное *индустриальное животноводство.* Новая технология производства молока и мяса на животноводческих комплексах промышленного типа предусматривает высокую концентрацию поголовья скота, бесподстилочное содержание животных, полную механизацию удаления навоза. В этих условиях образуется *жидкий навоз* с влажностью более 90%, не способный к самонагреванию. Сроки выживания патогенных бактерий и

яиц гельминтов в таком навозе увеличиваются и процессы минерализации органического загрязнения замедляются.

Жидкий навоз состоит в основном из органических легкоокисляющихся веществ и в этом отношении весьма сходен с бытовыми сточными водами. Различия сводятся к концентрации органических веществ: $БПК_5$ жидкого навоза крупного рогатого скота более 7000 мг O_2/л, свиней - около 20 000 мг O_2/л, тогда как $БПК_5$ бытовых сточных вод при норме водопотребления 250 л/сут составляет 150-200 мг O_2/л.

С позиций охраны окружающей среды важен также и большой объем стоков от животноводческих предприятий. В настоящее время объем жидких отходов животноводческих комплексов в развитых странах уже значительно превышает количество городских сточных вод и имеет тенденцию к дальнейшему росту. Типовой комплекс крупного рогатого скота на 10 000 голов дает за сутки такое же количество органических веществ (в пересчете на БПК), как и город с населением 160 000 человек, а свинооткормочный комплекс на 100 000 свиней приравнивается в этом отношении к городу с населением 200 000 человек. Загрязнения от животноводческих комплексов могут поступать в водные объекты разными путями. Во всех случаях жидкий навоз подвергается механической очистке в навозохранилищах, представляющих собой громадные отстойники. Эти сооружения интенсивно загрязняют почву органическими веществами, сальмонеллами, яйцами гельминтов. Загрязнения в высоких концентрациях проникают в грунтовые воды. Жидкая фракция после отстойников либо подвергается двухступенной биологической очистке на сооружениях типа аэротенков, либо используется на земледельческих полях орошения (ЗПО) различного типа дождеванием с помощью машин разного устройства. Из-за больших объемов жидкого навоза на относительно малой территории наблюдается тенденция к повышению нагрузок на очистные сооружения, норм полива. Невозможность своевременной утилизации жидкого навоза приводит к переполнению навозохранилищ. В результате та часть субстрата, которая превышает ассимиляционные возможности окружающих полей, неизбежно должна поступить в грунтовые воды или поверхностные водные объекты. Особенно опасно аварийное загрязнение водных объектов - источников централизованного питьевого водоснабжения при прорыве отстойников во время паводка.

Большое влияние на водные объекты оказывает и *современное полеводство,* основанное на широком и интенсивном использовании минеральных удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений и т.п. Происходит рассредоточенное и нерегулируемое их поступление в водные объекты на обширной территории, исключающее проведение санитарно-технических мероприятий. Единственным способом защиты водных объектов остается рациональная технология земледелия, учитывающая не только агрикультурные цели, но и задачи охраны окружающей среды. Под рациональной технологией следует понимать соблюдение утвержденных доз, сроков и методов внесения агрохимикатов, ограничивающих их распространение за пределы обрабатываемого поля, а также соблюдение правил их хранения и транспортировки. Большое значение имеет и исключение применения агрохимикатов на территории водоохранных зон. Надежных способов обезвреживания агрохимикатов с истекшим сроком хранения или запрещенных к применению до сих пор нет.

9.5. Водный транспорт

Водный транспорт также является серьезным источником загрязнения водных объектов. На судах образуются фекальные (фановые), хозяйственно-бытовые и подсланевые сточные воды, образующиеся в машинных отделениях. Фановые воды имеют высокое бактериальное (коли-титр 10^{-10}-10^{-2}) и органическое загрязнение. Бактериальное загрязнение хозяйственно-бытовых сточных вод на судах несколько ниже (коли-титр 10^{-6}-10^{-8}), органическое загрязнение незначительно. Подсланевые воды содержат много

нефтепродуктов и фенолов; не исключено присутствие в них и тетраэтилсвинца при использовании в качестве моторного топлива этилированного бензина.

Кроме сточных вод, серьезным источником загрязнения могут явиться балластные воды судов танкерного флота, содержащие остатки перевозимых жидких грузов - нефтепродуктов, ядохимикатов и пр. Концентрация загрязняющих веществ в балластных водах невелика, но их объемы значительны. Аварии танкерного флота часто связаны с разливом перевозимых грузов.

9.6. Последствия загрязнения водных объектов

В результате спуска сточных вод или поступления загрязнений из других источников состав воды водного объекта может измениться. Как правило, сточные воды представляют собой сложную смесь компонентов самой различной химической природы и агрегатного состояния; нередко их температура выше температуры воды объекта, в который они поступают. В сточных водах постоянно идут многообразные процессы трансформации, которые еще больше усложняются при смешении с природной водой. При этом в значительной мере нарушаются процессы естественного самоочищения природной воды. В частности, на всех континентах происходит антропогенное эвтрофирование водных объектов, особенно озер и водохранилищ (интенсивное развитие фитопланктона, зарастание прибрежных мелководий высшей водной растительностью). В результате в воде водного объекта развивается дефицит растворенного кислорода, восстановительные процессы приводят к ухудшению органолептических свойств воды - появлению неприятного запаха и вкуса, повышению цветности. Причиной таких нарушений является повышенное поступление в водные объекты биогенных элементов - азота и фосфора - с городскими сточными водами, поверхностным стоком с сельскохозяйственных угодий, промышленными сточными водами некоторых производств (молочные, сахарные, крахмальные заводы и пр.). Например, со стоками с полей может поступать до 20-40% внесенного с удобрениями азота и более 1,5% фосфора. Большое количество фосфора поступает в водные объекты с детергентами, широко применяемыми как в промышленности, так и в быту.

Своеобразной формой загрязнения водных объектов является термальное загрязнение - сброс нагретых вод из систем водяного охлаждения агрегатов тепловых и атомных электростанций, промышленных предприятий. Обычно температура сбрасываемых термальных вод на 5-13 °С, а в некоторых случаях даже на 14-24 °С выше, чем природных. Сброс нагретых вод приводит к существенному изменению термического режима, уменьшению насыщенности воды кислородом, изменению циркуляции воды, что отрицательно влияет на гидробиологические процессы и в конечном счете приводит к ухудшению санитарных показателей воды.

На поверхности воды водного объекта за счет свободной энергии молекул воды образуется пленка поверхностного натяжения толщиной в одну или несколько молекул, способная удерживать мелкие организмы с не смачивающимися участками тела, частицы пыли. Ведущую роль в формировании этой пленки играют органические ПАВ, захватывающие с собой и другие загрязняющие компоненты. В ветреную погоду поверхностная пленка сбивается в хлопья пены. Пена с большой активной поверхностью способна сорбировать и переносить различные загрязнения, как при флотационных процессах в промышленности. Эти особенности поверхностного слоя воды необходимо учитывать при осуществлении санитарного надзора за местами купания, водного спорта, а также при организации водозаборов для питьевых водопроводов.

Особенности загрязнения подземных водных объектов. Подземные водные объекты в той или иной степени защищены от прямого поступления загрязнений. Однако интенсивная хозяйственная деятельность в сочетании с халатным отношением к природоохранным мероприятиям часто приводит к нарушению природных защитных барьеров и загрязнению подземных водоносных горизонтов. К 2000 г. гидрогеологической

службой на территории России выявлено более 3000 очагов загрязнения подземных вод. В 36% очагов загрязнение поступало с территории промышленных предприятий, 15% очагов загрязнения были результатом инфильтрации из накопителей промышленных отходов, а также с сельскохозяйственных полей, обрабатываемых пестицидами и удобрениями, 9% очагов обязаны своим происхождением инфильтрации с полигонов и свалок твердых бытовых отходов и полей фильтрации, 13% очагов загрязнения водоносных горизонтов возникли вследствие нарушения правил и режима эксплуатации артезианских скважин.

9.7. Гигиенический критерий загрязненности водного объекта

Принципиально важен вопрос, каждое ли изменение состава и свойств воды водного объекта под влиянием производственной или хозяйственно-бытовой деятельности человека дает основание считать его загрязненным, т.е. что считать критерием чистоты или загрязненности водного объекта.

На этот счет существует несколько точек зрения. Сторонники одной из них предлагают считать чистым водным объектом такой, берега которого не заселены (так называемый природно-чистый). Это качество в условиях современной плотности населения и активности хозяйственной деятельности человека недостижимо. Кроме того, воды рек и озер в природном состоянии часто имеют бурый цвет (в реках, берущих начало из болот, из-за высокого содержания гуминовых веществ), ржавый цвет (от избытка закисных соединений железа). Вода рек Заполярья, например, имеет крайне низкую минерализацию, вследствие чего ее вкус неприятный, и т.д.

Другие авторы предлагают считать чистой воду выше источника загрязнения. Несостоятельность этой точки зрения становится ясной, если представить, что относительно следующего источника загрязнения, расположенного ниже первого, чистой должна считаться вода, измененная воздействием первого источника загрязнения.

Загрязненным следует считать такой водный объект (или его часть), в котором состав и свойства воды изменены в результате техногенного воздействия *настолько, что не могут удовлетворить требования того или иного водопотребителя.* Требования различных водопотребителей к составу и свойствам воды могут сильно различаться, о чем сказано в главе 8. Соответственно будет разной и оценка чистоты водного объекта, данная разными водопотребителями, тем более что для большинства водопотребителей важны лишь свойства воды, а не состояние водного объекта.

Гигиеническим критерием загрязненности водного объекта являются характер и степень изменения состава и свойств воды водного объекта, а также его эстетическое восприятие, ограничивающие питьевое, хозяйственно-бытовое или рекреационное водопользование.

Признавая неизбежность сброса сточных вод в водные объекты и возможность их загрязнения другими источниками, можно сформулировать задачу санитарной охраны водных объектов.

Задача санитарной охраны водных объектов - контроль соблюдения гигиенических нормативов и требований к воде на тех участках водного объекта, в которых осуществляется питьевое, хозяйственно-бытовое или рекреационное водопользование населения, выявление причин их нарушения, установление причинно-следственных связей состояния здоровья населения с нарушением санитарных правил и принятие санкций государственного надзора в отношении нарушителей водно-санитарного законодательства.

Поскольку Водным кодексом РФ предусматривается первоочередное удовлетворение питьевых и бытовых нужд населения, гигиенические требования к состоянию водных объектов - источников питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования и качеству воды в них имеют приоритетное зачение. Это положение в большой степени

определяет место санитарно-эпидемиологического надзора в государственной системе охраны водных объектов от загрязнения и истощения.

ГЛАВА 10. ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЗДОРОВЬЕ И УСЛОВИЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ И КРИТЕРИИ ЕГО ОЦЕНКИ

10.1. Направления неблагоприятного влияния водного объекта на здоровье и условия жизни населения

Водные объекты, являясь важным природным элементом среды обитания человека, воздействуют на его здоровье как непосредственно, так и косвенно через влияние на условия его жизни. Поверхностные водные объекты в их природном состоянии, не измененном хозяйственной деятельностью человека, как правило, благотворно влияют на условия жизни, смягчая климат, оказывая положительное эстетическое воздействие, являясь важным элементом ландшафта в поселении или рекреационной зоне. Не менее важна роль водного объекта как среды для занятий водными видами спорта, купания, плавания. Загрязненные водные объекты, т.е. подвергшиеся ненормированному антропогенному воздействию, могут неблагоприятно влиять на здоровье и условия жизни.

Санитарное состояние водного объекта и возможности водопользования из него во многом зависят от *процессов самоочищения водоема.* Нарушения санитарного режима водного объекта, вызванные техногенным или бытовым загрязнением, способны неблагоприятно влиять на условия жизни человека.

Влияние органолептических свойств питьевой воды на здоровье человека подробно освещено в главе 2 раздела 1. Здесь остановимся на воздействии на условия жизни человека через органолептическое восприятие не только воды как таковой, но и водного объекта в целом. Например, минеральные масла (нефтепродукты) в определенных концентрациях могут не влиять на качество воды, забираемой со значительной глубины, но вследствие образования поверхностной пленки ограничивают использование водного объекта для бытовых и спортивных целей. Водный объект как элемент среды обитания, важная составляющая архитектурного облика поселения, ландшафта рекреационной зоны оказывает огромное эстетическое воздействие через зрительное восприятие, температурные характеристики воды и пр.

Эстетическое воздействие среды обитания является одним из компонентов качества жизни, косвенно влияет на здоровье человека и, следовательно, должно учитываться при гигиеническом нормировании среды обитания и быть объектом внимания санитарного врача.

Возможность прямого неблагоприятного воздействия химического и биологического состава питьевой воды на здоровье человека подробно рассмотрена в предыдущем разделе. Чаще всего прямое воздействие на здоровье связано с природным макро- и микроэлементным составом воды, ее минерализацией и касается подземных водных объектов.

Приведем примеры массовых нарушений здоровья населения в результате техногенного загрязнения поверхностных водных объектов. Массовое хроническое заболевание, связанное с загрязнением источника питьевого водоснабжения (озера) токсичными промышленными отходами, отмечено в 80-х годах XX века в поселке Надвоицы в Карелии. Градообразующим фактором был завод по выплавке алюминия, а в алюминий содержащих рудах (нефелины, бокситы) содержится фтор. Выделяющиеся в процессе производства алюминия фториды и фтористый водород входят в состав производственных сточных вод, газовых выбросов в атмосферный воздух и шламов (твердых промышленных отходов). Сточные воды и шламы сбрасывались без очистки в заболоченный залив озера Воица. Источником нецентрализованного питьевого водоснабжения населения поселка служило то же озеро в его незаболоченной части. Содержание фториона в воде озера составляло 6,5-10 мг/л, т.е. превышало ПДК в 4,5- 7 раз. В результате возникли массовые заболевания детей флюорозом, отмечены случаи

флюороза II и III степени. Пораженность детей флюорозом составляла 96%. После проведения вододоохранных мероприятий концентрации фтора в воде не превышали ПДК. Нормализация содержания фтора в питьевой воде способствовала снижению заболеваемости флюорозом, особенно у детей младшего возраста, но не привела к ее ликвидации. Дело в том, что поступление фторсодержащих соединений с выбросами завода в атмосферный воздух продолжалось, а ПДК соединений фтора в воздухе жилой зоны были превышены в 2,2-5,8 раза.

В начале 90-х годов XX века было проведено гигиеническое исследование причинно-следственных связей здоровья населения г. Юрга (около 100 000 человек) Кемеровской области с питьевым водоснабжением. Градообразующим фактором в г. Юрга являются машиностроительные и деревообрабатывающие предприятия; воздействия

вредных производственных факторов химической природы не выявлено. Источник питьевого водоснабжения, река Томь, принимала до 7 млн $м^3$/сут сточных вод, причем промышленные сточные воды составляли более 94% (фенолы, нефтепродукты, а также летучие хлорорганические соединения, в том числе хлороформ и дихлорметан). Суммарная концентрация летучих хлорорганических соединений в воде р. Томь в створе водозабора и в водопроводной воде Юрги составляла 3,16±0,6 мг/л, что превышает ПДК более чем в 35 раз. Суммарное содержание фенолов превышало ПДК в 4-6 раз, аминосоединений - в 3,5-4,5 раза.

В 1980-1989 гг. было установлено резкое превышение (в 2-3,3 раза) числа подростков, состоящих на диспансерном учете с заболеваниями печени и хроническим нефритом по сравнению с областными показателями. Менее выраженными, но той же направленности были различия показателей мертворожденности и врожденных уродств.

Рабочая гипотеза о причинно-следственной связи нарушения здоровья населения с загрязнением источника питьевой воды подтвердилась в широко поставленных экспериментах на лабораторных животных. Доказательство связи состояния здоровья с загрязнением питьевой воды в данном случае облегчалось отсутствием промышленного загрязнения атмосферного воздуха в г. Юрга, а также значимых вредных факторов производственной среды. Результаты исследования послужили основанием для разработки проекта реконструкции очистных сооружений юргинского водопровода с заменой хлорирования воды на озонирование и введением блока сорбционной очистки.

Доказать эпидемиологическим методом роль водного фактора в нарушении здоровья населения Томска, расположенного на р. Томь ниже Юрги, и получавшего питьевую воду из той же реки, несмотря на тщательно организованные многоплановые исследования состояния здоровья, не удалось. Одной из причин этого является маскировка роли питьевой воды более выраженным воздействием загрязнения атмосферного воздуха; очевидна и большая выраженность в Томске неблагоприятных социальных факторов, присущих крупному промышленному центру. Тем не менее в Томске была разработана и выполнена большая инженерно-социальная программа по переводу питьевого водопровода на подземный источник водоснабжения. Основанием для выполнения столь дорогостоящего и сложного мероприятия явилось несоответствие санитарного состояния р. Томь санитарным правилам (значительное превышение гигиенических нормативов содержания в воде реки высокоопасных веществ), несмотря на статистическую недоказанность прямого влияния этого фактора на здоровье населения.

Возможно и опосредованное неблагоприятное воздействие на здоровье населения при нарушении санитарных правил охраны водных объектов. В 40-50-х годах XX века в Японии среди жителей побережья р. Йнитсу наблюдалось массовое отравление кадмием. Появлялись сильные боли в пояснице, нижних конечностях, признаки остеомаляции, иногда остеопороза, в результате чего происходили самопроизвольные переломы. У больных отмечались протеинурия, глюкозурия и аминоацидурия. Заболело около 200 человек, причем половина случаев закончилась смертью. Из-за сильно выраженного болевого синдрома болезнь получила название «итай-итай», что по-японски означает

«больно-больно». Причиной отравления послужили сточные воды кадмиевого рудника, сбрасываемые в реку, воду которой использовали для орошения рисовых полей. Заболевание наблюдалось у людей, потреблявших рис, выращенный на этих полях. В костях и органах умерших были обнаружены высокие концентрации кадмия, свинца и цинка. В 1978 г. вспышка болезни «итай-итай» зарегистрирована в префектуре Тояма, где диагноз установлен у 217 человек; причина заболевания аналогична. Эпидемиологическими исследованиями японских ученых доказано, что в организм человека, не имевшего профессионального контакта с кадмием, он поступал с продуктами питания или питьевой водой.

Причиной массовых отравлений ртутью в Японии стал сброс промышленных сточных вод, содержащих неорганические соединения ртути, в Иокогамский залив и р. Агано. Это привело к накоплению метил ртути в промысловой рыбе - основном продукте питания местного населения. Метилртуть, более подвижное и более токсичное вещество, чем неорганические соединения ртути, появилась в воде в результате естественного процесса биологического метилирования донных осадков, содержавших неорганическую ртуть. Происходили биологическая трансформация токсиканта, поступившего в воду, и дальнейшая миграция продуктов его трансформации по трофическим цепям. В 1967-1968 гг. было зарегистрировано 46 случаев отравления метил ртутью, в 1971 г. число пострадавших достигло 269, из них 55 умерли. К 1974 г. в г. Минамата было выявлено 700, в г. Ниигата - 500 случаев подобного отравления.

В Венгрии описаны случаи дерматитов при потреблении воды из подземных источников, загрязненной сточными водами, содержащими соли хрома.

Приведенные примеры свидетельствуют о возможности острых отравлений или выраженных болезненных состояний в результате высокого промышленного загрязнения водного объекта. Меньшие уровни загрязнения не вызывают заболевания, но также сказываются на состоянии здоровья населения, ослабляя защитные силы организма, вызывая неспецифические нарушения здоровья. Это может выражаться в снижении физического развития детей, иммунного статуса, повышении общей заболеваемости, не имеющей прямой этиологической связи с составом воды. Доказать причинно-следственную связь подобных нарушений здоровья популяции с воздействием водного фактора очень трудно, поскольку в реальных условиях, как правило, происходит одновременное воздействие техногенных факторов химической и физической природы через атмосферный воздух, продукты питания, условия производственной среды, а также социальных условий. Доля водного фактора в комплексном воздействии средовых факторов оказывается небольшой.

Следовательно, водные объекты являются важным и необходимым элементом среды обитания человека, благоприятно влияющим на условия жизни и здоровье человека. При нерегламентированном воздействии на водный объект различных видов человеческой деятельности его естественное состояние может нарушиться, и в результате водный объект может стать неблагоприятным фактором среды. Неблагоприятное влияние имеет 3 направления:

- *токсическое влияние воды загрязненного водного объекта.* Оно может быть непосредственным, через развитие клинически выраженных болезней и болезненных состояний, этиологически связанных с химическими компонентами воды, либо опосредованным, через воздействие на регуляторные механизмы гомеостаза, нарушая физическое развитие, повышая неспецифическую заболеваемость, ускоряя процессы старения и пр. Опосредованное неблагоприятное влияние на здоровье может реализоваться и через продукты питания, имевшие контакт с загрязненной водой (сельскохозяйственная продукция, рыба и др.);

- *неблагоприятное изменение органолептических свойств воды.* Необходимо еще раз подчеркнуть, что изменение органолептических свойств воды не только оказывает негативное эстетическое воздействие, но и способно вызывать неблагоприятные

физиологические реакции пищеварительной, сердечно-сосудистой систем и даже зрительного анализатора;

- *нарушение санитарного режима водного объекта.* Оно может косвенно влиять на многие виды водопользования, оказывая либо прямое повреждающее воздействие на здоровье, либо изменяя органолептические свойства воды, либо неблагоприятно изменяя эстетическое восприятие водного объекта в целом.

10.2. Методы и критерии оценки влияния водных объектов на здоровье и условия жизни населения

Для осуществления действенного санитарно-эпидемиологического надзора в области санитарной охраны водных объектов санитарный врач должен иметь критерии, которые бы позволили определить пределы техногенного и антропогенного воздействия на водный объект. Это *ПДК химических веществ в воде водных объектов и санитарные показатели состояния водных объектов.*

Как показано выше, наблюдения в реальных условиях, как правило, не могут дать истинную картину потенциальной опасности загрязнений воды. Это заставляет проводить *экспериментальные исследования* по выявлению причинно-следственных связей воздействия химического фактора малой интенсивности, связанного с водой, на состояние теплокровного организма и условия его существования.

В основу современного водно-санитарного законодательства, направленного на гигиеническую регламентацию загрязнения водных объектов, положено представление о ПДК. Обязанности Минздрава России по разработке ПДК в воде и охрана водных объектов от загрязнения на основе гигиенических нормативов определены Федеральным Законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

ПДК химического вещества в воде водных объектов называется максимальная концентрация, которая при воздействии на человека в течение всей его жизни прямо или опосредованно (через изменение органолептических свойств воды) не вызывает отклонений в состоянии организма, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций, обнаруживаемых современными методами исследования сразу или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений, а также не ухудшает гигиенические условия водопользования населения.

Теоретической базой этого определения является *принцип пороговости биологического эффекта,* который предполагает существование концентраций (или доз) химического агента, не проявляющих токсического или иного неблагоприятного влияния на организм по тому или иному признаку. С практических позиций порог токсического действия позволяет дать конкретные рекомендации для технологии и санитарной техники. Важно, какую степень биологической реакции организма считать пороговой. Для характеристики ПДК, которая не должна приводить к ухудшению здоровья, сами собой отпадают нозологический и даже синдромологический уровни, свидетельствующие о явной патологической реакции организма, требующей лечебного воздействия. В современной отечественной гигиене утвердилось мнение, что *за пороговый уровень воздействия должны быть приняты физиологические реакции, носящие приспособительный, адаптивный характер и свойственные здоровому организму;* их следует отличать от *компенсаторных* физиологических реакций, целью которых является замещение нарушенной функции, а не адаптация здорового организма. Несмотря на ясность в теоретическом плане, в практике гигиенического нормирования при оценке полученных экспериментальных данных обоснование пороговых доз (концентраций) остается одним из самых сложных вопросов. Достаточно обоснованная величина экспериментально установленной пороговой зоны дает возможность исследователю предложить с учетом кумулятивных свойств вещества, его стабильности и подпороговую (недействующую) дозу по санитарно-токсикологическому показателю.

Вторым принципом гигиенического нормирования являются необходимость и возможность использования *биологических моделей* для обоснования степени вредности и опасности нормируемого агента (вещества). Врач-гигиенист не может получить сведений о степени и характере токсичности химического вещества непосредственно для человека в силу соображений гуманности. Этому не способствуют и наблюдения из санитарной практики, поскольку исследователь имеет дело с новыми, ранее неизвестными веществами. Они должны получить соответствующую гигиеническую оценку до применения в хозяйственной деятельности.

Единственно возможным путем изучения токсических свойств вещества с гигиеническими целями является санитарно-токсикологический эксперимент на биологических моделях, в качестве которых используются теплокровные лабораторные животные (млекопитающие). Адекватность биологических моделей для изучения реакций человека на химическое воздействие подтверждается многолетним опытом фармакологии.

Неблагоприятное действие химического фактора в воде водных объектов складывается из прямого токсического эффекта, изменения органолептических свойств воды и нарушения санитарного режима водных объектов. Рекомендуемая ПДК должна гарантировать отсутствие неблагоприятного влияния на человека по всем трем направлениям. Это условие обеспечивается соблюдением *третьего принципа* - учета *лимитирующего показателя вредности.*

Лимитирующим показателем вредности называется тот из трех показателей (санитарно-токсикологический, органолептический и общесанитарный), который имеет наименьшую абсолютную пороговую (подпороговую) концентрацию.

Введение понятия «лимитирующий показатель вредности» обеспечивает санитарную надежность ПДК вещества по остальным двум показателям вредности.

Четвертый принцип гигиенического нормирования - *проверка результата эксперимента, ПДК, наблюдениями в условиях практической деятельности санитарной службы.* ПДК, как и все результаты экспериментальных исследований в любой отрасли науки, является лишь приближением к истине в той мере, которую допускают примененные методы исследования. Единственный достоверный критерий истины - практика. С учетом этого принципа в свое время были пересмотрены и снижены ПДК свинца и мышьяка, повышены ПДК цинка и стабильного стронция, уточнены ПДК ряда алифатических спиртов.

Указанные принципы легли в основу методической схемы экспериментальных исследований по гигиеническому нормированию химических веществ в воде водных объектов, предложенной в 1945 г. проф. С.Н. Черкинским, которая с накоплением опыта наполнялась новым содержанием и совершенствовалась (табл. 10.1).

В данной схеме находят отражение те направления неблагоприятного влияния загрязнения водного объекта на население, которые должны быть положены в основу изучения вещества, поступающего в водный объект, при гигиеническом нормировании его содержания в воде. Вместе с тем необходимо выяснить, с какой скоростью вещество изменяется в условиях водного объекта, каковы пути этого изменения и его результаты. Из этих задач складывается еще одно направление исследований - исследование стабильности вещества в водной среде и возможных путей его трансформации. Исследования по гигиеническому нормированию вещества следует начинать с изучения его стабильности и трансформации в водной среде.

Изучение *стабильности и трансформации вещества в водной среде* имеет целью определить продолжительность его сохранения в воде в неизмененном виде и установить скорость его распада или превращения. Существенное значение имеет определение роли факторов, в наибольшей степени влияющих на освобождение воды от химического загрязнения. Предварительное изучение физико-химических свойств и структуры вещества позволяет составить представление о возможных изменениях его структуры и

свойств в водной среде, а также о влиянии вещества на санитарные показатели качества воды и наметить план и содержание эксперимента.

Таблица 10.1. Схема исследований по гигиеническому нормированию химических веществ в воде водных объектов

Направление исследований	**Стабильность вещества в водной среде**	**Влияние на санитарный режим водного объекта**	**Влияние на органолептические свойства воды**	**Токсические свойства вещества**
Цель исследований	Изучение изменения физико-химических характеристик вещества в водной среде и их скорости	Скорость минерализации и нитрификации органических загрязнений (по динамике БПК, соединений азота и бактериальной флоры) или скорость окисления	Характер и степень изменения органолептических свойств воды (запах, привкус, окраска, образование пленки или пены)	Уровень токсичности, степень кумулятивности. Механизм и отдаленные эффекты токсического действия
Результат исследований	Класс стабильности; для нестабильных и умеренно стабильных характеристика продуктов трансформации	Пороговая концентрация по обще-санитарному показателю вредности	Пороговая концентрация по органолептическому показателю вредности	Подпороговая (недействующая) концентрация по санитарно-токсикологическому показателю вредности
Конечная цель	Обоснование ПДК и лимитирующего показателя вредности			
Проверка эксперимента практикой	Комплексные гигиенические наблюдения за здоровьем населения и условиями водопользования в районе ниже спуска сточных вод			

Эксперимент, как правило, должен проводиться в условиях, ограниченных потребностями санитарной практики. С учетом этого принципа исследуют концентрации вещества и параметры факторов среды, влияющих на превращение вещества, а также время их воздействия.

Распад веществ в низких концентрациях в воде обычно подчиняется законам реакций первого порядка и может быть аппроксимирован экспоненциальной кривой. Наиболее объективной характеристикой стабильности вещества является время его полураспада T_{50} (время, за которое его концентрация в водной среде снижается вдвое). По этому показателю вещества делятся на стабильные ($T_{50} > 2$ сут), умеренно стабильные ($T_{50} = 1$-2 сут) и нестабильные ($T_{50} < 1$ сут). Если установлено, что вещество стабильно, исследования в этом направлении прекращают и переходят к следующему этапу исследований (см. табл.10.1). Если вещество нестабильно или умеренно стабильно, на последующих этапах эксперимента должно быть предусмотрено также изучение наряду с исходным веществом продуктов его трансформации.

Целью исследований, проводящихся по каждому из трех остальных разделов схемы, является *установление пороговой концентрации,* т.е. концентрации, стоящей на грани между действующими и недействующими. В отношении прямого (токсического) влияния необходимо не только определить пороговую, но и экспериментально установить максимальную недействующую (подпороговую) концентрацию.

Пороговые концентрации вещества *по органолептическому признаку вредности* устанавливаются относительно запаха, вкуса, окраски, которые вещество

способно придавать воде, а также относительно способности вещества к пенообразованию. Принципиальное значение имеет взгляд на запах, привкус, окраску и т.д. *не как на физические, а как на органолептические свойства воды,* т.е. свойства, воспринимаемые органами чувств человека. Влияние вещества на запах и вкус воды изучают в эксперименте на людях-добровольцах.

Конечной целью этого раздела исследования является установление такой концентрации изучаемого вещества, при которой его влияние на органолептические свойства воды еще не ограничивает ее использование для питьевых, хозяйственно-бытовых и рекреационных нужд.

Теоретической основой поиска пороговых концентраций по этим признакам является *психофизический закон Вебера-Фехнера,* согласно которому *интенсивность ощущения пропорциональна логарифму концентрации вещества* (в данном случае в воде). Добровольцы - участники эксперимента оценивают запах или привкус растворов исследуемого вещества разной концентрации. По графику в осях «интенсивность ощущения (в баллах)» - «логарифм концентрации вещества» определяют концентрации вещества, которые сообщают воде запах (привкус) силой в 1 балл. Эта величина считается пороговой концентрацией по изучаемому признаку.

Пороговые концентрации веществ по окраске и пенообразованию устанавливаются в лабораторных экспериментах. За пороговую по окраске принимается концентрация вещества, не дающая видимой глазом окраски столба воды высотой 10 см. За пороговую концентрацию по способности к пенообразованию принимается концентрация, при которой после стандартного взбалтывания в цилиндрах вместимостью 1000 мл отсутствует крупнопузырчатая пена, а высота мелкопузырчатой у стенок цилиндра не превышает 1 мм.

Наименьшая из полученных пороговых величин рекомендуется как *пороговая концентрация по органолептическому признаку вредности.*

Затем изучают влияние вещества на *санитарный режим водного объекта* или на процессы естественного самоочищения от органического природного и антропогенного загрязнений. Это влияние может проявиться либо торможением биохимических процессов самоочищения вследствие биоцидных свойств вещества, либо нарушением кислородного режима, если исследуемое вещество способно к быстрому химическому или биохимическому окислению. Конечный результат воздействия будет один и тот же - развитие в водном объекте гнилостных анаэробных процессов, образование поверхностных пленок, всплывание осадка, появление грибковых и водорослевых обрастаний. В результате водный объект может стать непригодным не только для питьевого водоснабжения, но и для купания, водного спорта и прочих культурно-бытовых целей.

Представление о влиянии вещества на санитарный режим водного объекта складывается из изменения биохимического потребления кислорода и нитрификации органических загрязнений под влиянием различных концентраций вещества. Эксперименты проводят в лабораторных условиях для нахождения концентрации вещества, дающей пороговый эффект по *обще-санитарному признаку вредности.* За пороговый эффект принимается отклонение кривых динамики БПК или нитрификации от контроля, не выходящее за пределы ±15%.

Наиболее сложным и трудоемким разделом комплексной программы исследования вещества с целью гигиенического нормирования является изучение его токсических свойств.

Цель этих исследований - *установление максимальной недействующей дозы вещества* и сложность ее достижения обусловливают этапность токсикологических экспериментов.

Исследования начинают с так называемых *острых токсикологических опытов:* вещество вводят животным однократно внутри желудочно с помощью зонда в

дозах, способных дать смертельный эффект. Целью этих опытов является определение степени токсичности вещества, диапазона токсического действия, видовой и половой чувствительности лабораторных животных. С помощью статистических методов определяют средне-смертельную дозу (ЛД), которая служит мерой токсичности и используется для сравнения токсичности различных веществ. Во время острых опытов проводят те или иные функциональные физиологические или биохимические пробы. Результаты этих исследований наряду с клинической картиной интоксикации и сроками гибели животных позволяют составить ориентировочное представление о характере токсического действия веществ, механизме интоксикации.

На втором этапе исследований в *подострых токсикологических экспериментах* решают две задачи. Первая из них - определение выраженности кумулятивных свойств вещества, вторая - изучение механизма, патогенеза интоксикации. В этих экспериментах, как правило, испытываются десятые и сотые доли $ЛД_{50}$. Выбранные дозы вещества вводятся ежедневно внутрь животным нескольких групп в течение 10-60 дней. Об эффекте кумуляции судят по числу летальных исходов или по изменениям функционального состояния животных. В конце эксперимента вычисляют коэффициент кумуляции. В других сериях подострых опытов изучают патогенетические механизмы интоксикации.

При выборе доз, видов лабораторных животных, планировании режима, способа и длительности экспозиции, подборе регистрируемых показателей функционального состояния организма животных и тестов, по которым они оцениваются, исходят из результатов острых опытов и данных литературы (токсикологической и клинической) о токсическом действии веществ, сходных с изучаемым по химической структуре.

Взаимодействие химического агента и организма оценивают по показателям токсикодинамики (функциональное состояние организма) и токсикокинетики (распределение, накопление и выведение вещества), а результаты эксперимента должны дать представление о патогенетических механизмах интоксикации.

Результаты острых и подострых токсикологических опытов служат основой для планирования наиболее ответственного заключительного этапа токсикологических исследований - *хронического санитарно-токсикологического эксперимента.* Его сущность - токсикологическим методом добиться санитарной (гигиенической) цели: определить дозу исследуемого вещества, не вызывающую при длительном (хроническом) поступлении в организм отклонений в его состоянии, выходящих за пределы адаптационных физиологических реакций. Она получила название *максимальной недействующей дозы (МНД), или подпороговой.* Для убедительного ее обоснования в том же эксперименте нужно установить действующую дозу и пороговую дозу. В хроническом эксперименте испытывают минимум 3 дозы. При выборе методов оценки функционального состояния организма лабораторных животных основываются на результатах подострых опытов, отбирая наиболее характерные, патогенетически обусловленные тесты, а также тесты, свидетельствующие об иммунобиологических реакциях организма, взаимодействии функциональных систем - так называемые неспецифические, интегральные показатели. Практика гигиенического нормирования показывает, что минимально действующие, пороговые и максимальные недействующие дозы при длительном введении вещества находятся в диапазоне от 0,01 до 0,000001 $ЛД_{50}$в зависимости от выраженности кумулятивных свойств вещества. Достоверность и объективность устанавливаемой при этом пороговой и максимальной недействующей доз должны основываться на внимательном анализе незначительных изменений реакции животных на введение вещества в сопоставлении с результатами подострых экспериментов по тестам, взятым для оценки его биологического действия.

Трудность учета и оценки незначительных и неустойчивых отклонений функций организма в хроническом санитарно-токсикологическом эксперименте требует применения при анализе его результатов методов вариационной статистики. Широко

используют методы вычисления средней арифметической и ее стандартной ошибки, различные методы корреляционного и регрессионного анализа, дисперсионный и дискриминационный анализ и др. Статистические методы позволяют обнаружить связь между изменениями отдельных тестов, исследованных в эксперименте, и облегчают построение патофизиологической модели процесса интоксикации. Такой подход к анализу результатов токсикологических экспериментов обеспечивает объективность и надежность получаемых пороговых и подпороговых концентраций.

В подостром и хроническом экспериментах наряду с изучением общетоксического действия исследуют так называемые отдаленные последствия. Под отдаленными последствиями понимают изменение репродуктивной функции у животных, появление новообразований, атеросклеротических изменений. Влияние на репродуктивную функцию нужно изучить во всем его многообразии (гонадотоксическое, эмбриотоксическое действие, влияние на постнатальное развитие потомства). Оценивают также аллергенные свойства вещества. За недействующую (подпороговую) концентрацию вещества по *санитарно-токсикологическому признаку вредности* принимают концентрацию, не дающую как общетоксических, так и отдаленных эффектов.

Когда известны все пороговые и подпороговые концентрации, наименьшую по абсолютной величине предлагают в качестве предельно допустимой. Показатель, по которому установлена ее наименьшая абсолютная величина, назван *лимитирующим показателем вредности.* Например, для севина ПДК рекомендуется на уровне 0,1 мг/л по органолептическому, для дихлордибутилолова - 0,002 мг/л по санитарно-токсикологическому, а для капролактама - 1,0 по общесанитарному показателю вредности (табл. 10.2).

Материалы по результатам исследований и обоснованию ПДК направляются в Минздрав России для экспертизы и утверждения Главным государственным санитарным врачом России. Утвержденные нормативы используют в практике государственного санитарно-эпидемиологического надзора, проектных и строительных организаций. ПДК публикуют в виде нормативного документа (государственные нормативы).

Таблица 10.2. Пороговые и предельно допустимая концентрации химических веществ в воде

Вещество	Лимитирующий показатель вредности			ПДК, мг/л
	Санитарно-токсикологический	Обще-санитарный	Органолеп-тический	
Дихлордибутилолово	0,002	1,0	3,0	0,002
Севин	1,4	0,5	0,1	0,1
Капролактам	30	1,0	360	1,0

Постоянно растущие запросы санитарной практики требуют интенсификации исследований по разработке ПДК. Опыт гигиенического нормирования показывает, что в ряде случаев можно отказаться от проведения полного комплекса экспериментов, пользуясь *расчетными* или *экспресс-экспериментальными* методами.

Отношение $ЛД_{50}$ к МНД в хроническом эксперименте не превышает 200 000, поэтому для веществ, у которых отношение $ЛД_{50}$ к пороговой концентрации по органолептическому признаку вредности достигает 0,5-1 млн и выше, можно не проводить хронический эксперимент, а рекомендовать ПДК на уровне пороговой концентрации по органолептическому признаку вредности.

Анализ материалов по гигиеническому нормированию химических веществ во всех средах с помощью методов корреляции и регрессии показал наличие, тесноту и численные величины связей параметров хронической токсичности (МНД и пороговых доз) при внутрижелудочном введении вещества с рядом его физико-химических свойств, параметрами острой токсичности при ингаляционном введении, а также с гигиеническими нормативами содержания веществ в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны производственных помещений. При достаточной величине коэффициента корреляции по

полученным уравнениям регрессии можно составить представление о величине МНД для вновь вводимых в технологию веществ без проведения хронического санитарно-токсикологического эксперимента. Влияние вещества на органолептические свойства воды и санитарный режим водного объекта при использовании расчетного или экспресс-экспериментального метода прогноза токсичности изучают обычным путем. Результатом таких исследований является ОДУ.

ОДУ вещества в воде водных объектов - временный гигиенический норматив, разработанный на основе расчетных и экспресс-экспериментальных методов прогноза токсичности и применяемый только на стадии санитарного надзора за проектированием или строительством объектов.

В методической схеме исследований (см. табл. 10.1) предусмотрены не только экспериментальные приемы гигиенического нормирования, но и комплексные гигиенические наблюдения в районе ниже спуска промышленных сточных вод. С внедрением экспериментального метода гигиенической оценки химических веществ возможность выявления зависимости между уровнем их содержания в воде водного объекта и состоянием здоровья населения стала более реальной. В этих условиях уже известны лимитирующие показатели вредности загрязняющих водный объект веществ, а также характер и степень их токсического действия, что позволяет проводить натурные наблюдения более целенаправленно.

Сопоставления концентраций химических и биологических компонентов воды водного объекта с гигиеническими нормативами недостаточно для полной оценки неблагоприятного влияния водного фактора на здоровье и условия жизни населения. Необходима комплексная оценка санитарного режима водного объекта и процессов самоочищения в нем. Комплексную оценку осуществляют с помощью санитарных показателей.

Санитарный показатель состояния водного объекта - химическая, биохимическая или иная характеристика, отражающая санитарный режим водного объекта. Совокупность санитарных показателей позволяет оценить возможность использования водного объекта в качестве источника питьевого водоснабжения, в хозяйственно-бытовых или рекреационных целях.

Санитарных показателей много, но для санитарной практики наибольшее значение имеют показатель кислородного режима водного объекта (содержание в воде растворенного кислорода), косвенные показатели содержания нестабильных органических веществ (перманганатная окисляемость, БПК), содержание стабильных окисляющихся веществ - бихроматная окисляемость (ХПК), соотношение содержания продуктов окисления белковых веществ - ионов аммония, нитритов, нитратов (триада азота), содержание взвешенных веществ. Абсолютные величины перечисленных показателей, свойственные каждому водному объекту, изменяются во времени в зависимости от метеорологических и климатических условий, поэтому для них нет гигиенических нормативов. Рассмотрение комплекса этих показателей во времени, а также с учетом влияния антропогенного и техногенного воздействия помогает решению многих практических задач санитарной охраны водных объектов и питьевого водоснабжения. Санитарными правилами «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» установлены предельные значения санитарных показателей качества воды водных объектов, подвергшихся техногенному воздействию, в контрольных створах в зависимости от видов водопользования (табл. 10.3).

Санитарные показатели водных объектов используются и при характеристике источников питьевого водоснабжения; диапазоны их значений шире, чем в табл. 10.2, и они разбиты на 3 класса (см. главу 3).

Таблица 10.3. Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в контрольных створах и местах питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования (СанПиН 2.1.5.980-00)

п/п	Показатели	Категория водопользования	
		для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также водоснабжения пищевых предприятий	для рекреационного водопользования, а также водных объектов в черте населенных мест
	2	3	4
	Взвешенные вещества*	При сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более чем на	
		0,25 мг/дм^3	0,75 мг/дм^3
		Для водных объектов, содержащих в межень более 30 мг/дм^3 природных взвешенных веществ, допускается увеличение их содержания в воде в пределах 5%. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водных объектов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	
	Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопление других примесей	
	Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике	
		20 см	10 см
	Запахи	Вода не должна приобретать запахи интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые:	
		непосредственно или при последующем хлорировании или других способах обработки	непосредственно
	Температура	Летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
	Водородный показатель (pH)	Не должен выходить за пределы 6,5-8,5	

Окончание табл. 10-3

	2	3 4	
	Минерализация воды	Не более 1000 мг/дм^3, в том числе хлоридов 350 мг/дм^3, сульфатов 500 мг/дм^3	
	Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/дм^3 в любой период года в пробе, отобранной до 12 ч дня	
	Биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$)	Не должно превышать при температуре 20 °С	
		2 мг O_2/дм^3	4 мг O_2/дм^3
0	Химическое потребление кислорода (бихроматная окисляемость) - ХПК	Не должно превышать	
		15 мг О/дм^3	30 мг О/дм^3
1	Химические вещества	Не должны содержаться в воде водных объектов в концентрациях, превышающих ПДК или ОДУ	
2	Возбудители кишечных инфекций	Вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций	
	Жизнеспособные яйца гельминтов,	Не должны содержаться в 25 л воды	

3	онкосферы тениид и цисты патогенных кишечных простейших	
4	Термотолерантные колиформные бактерии**	Не более 100 КОЕ/100 мл
5	Общие колиформные бактерии**	Не более 1000 КОЕ/100 мл 500 КОЕ/100 мл
6	Колифаги **	Не более 10 БОЕ/100 мл 10 БОЕ/100мл
7	Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии***	E(Ai/YBi)<1

* Содержание в воде взвешенных веществ неприродного происхождения (хлопья гидроксидов металлов, образующихся при обработке сточных вод, частички асбеста, стекловолокна, базальта, капрона, лавсана и т. д.) не допускается.

** Для централизованного водоснабжения; при нецентрализованном питьевом водоснабжении вода подлежит обеззараживанию.

*** В случае превышения указанных уровней радиоактивного загрязнения контролируемой воды проводится дополнительный контроль радионуклидного загрязнения в соответствии с действующими нормами радиационной безопасности; Ai - удельная активность i-го радионуклида в воде; YBi - соответствующий уровень вмешательства для i-го радионуклида (приложение П-2 НРБ-99).

10.3. Оценка риска неблагоприятного воздействия водного объекта на здоровье населения

Гигиенический норматив химического вещества в воде водных объектов предполагает полное предотвращение нежелательного, в том числе и опосредованного, влияния данного вещества на здоровье человека. Однако в нормативе нет ответа на вопрос *о степени повреждения здоровья* при тех или иных уровнях *превышения ПДК.*

В реальных условиях на человека влияет не один изолированный фактор, связанный с водопользованием, а их сложное сочетание *(комбинированное действие).* Это комбинированное действие может проявляться в росте заболеваемости неинфекционными болезнями желудочно-кишечного тракта, снижении показателей физического развития детей, снижении иммунного статуса и изменении других неспецифических показателей здоровья населения. Специфическая роль отдельного токсиканта может не проявляться, если его концентрация невысока.

В таких условиях оценку степени неблагоприятного влияния загрязнения водного объекта на здоровье и условия жизни целесообразно производить с использованием методики оценки риска неблагоприятного воздействия. Эта методика позволяет *в конкретной санитарной ситуации* выявлять вещества, в наибольшей мере оказывающие неблагоприятное влияние на здоровье (так называемые *приоритетные вещества),* оценивать сравнительную гигиеническую и экономическую эффективность возможных природоохранных или санитарных мероприятий.

Методика оценки риска неблагоприятного воздействия используется и для установления доли водного фактора в суммарном неблагоприятном воздействии среды обитания в целом на здоровье населения (комплексное действие). В промышленно развитом регионе (Самарская область) с использованием методики оценки риска для здоровья показано, что доля питьевой воды в суммарном канцерогенном риске составляла 2,54%, а вклад в канцерогенный риск атмосферного воздуха равнялся 97,3%. В другом исследовании коэффициент абсорбции кадмия в желудочно-кишечном тракте из воды составлял 5%, а абсорбция оксида кадмия в легких из атмосферного воздуха достигала 90%. Соответственно роль этих элементов среды обитания в нарушении здоровья

населения оказывается различной. Соотношение долей водного и воздушного факторов в суммарном риске нарушения здоровья показано и в других исследованиях.

Таким образом, методика оценки риска вредного действия направлена на объективизацию и оптимизацию управленческих решений в области санитарно-эпидемиологического надзора. Современные информационные технологии позволят в ближайшее время дать санитарному врачу информационные фонды и алгоритмы действий в виде компьютерных программ.

Однако из изложенных результатов сравнительной оценки риска водного фактора для здоровья нельзя делать вывод о том, что внимание санитарно-эпидемиологической службы, финансовые и материальные вложения общества, предназначенные для оптимизации среды обитания, всегда должны делиться пропорционально доле риска. Водные ресурсы небезграничны, и ослабление их охраны и защиты от загрязнения и истощения может изменить это соотношение, в том числе и катастрофически. Неблагоприятные последствия загрязнения водных объектов не прекращаются с ликвидацией источника вредности, борьба с ними требует весьма продолжительного времени и значительных материальных средств.

ГЛАВА 11 МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Не плюй в колодец, пригодится воды напиться!
Русская пословица

11.1. Система мероприятий

В идеале охрана водных объектов от загрязнения предполагает полное разобщение производственных и бытовых циклов и природных циклов круговорота веществ и энергии, иными словами, создание безотходной технологии. Схема безотходной технологии в общем виде представлена на рис. 11.1.

Безотходная технология - это теоретический предел. В большинстве случаев ее можно реализовать лишь частично, но с развитием технического прогресса со все большим приближением к идеалу. Современное общество политически, экономически и морально не готово к полному разобщению природного и технологического круговорота веществ и энергии.

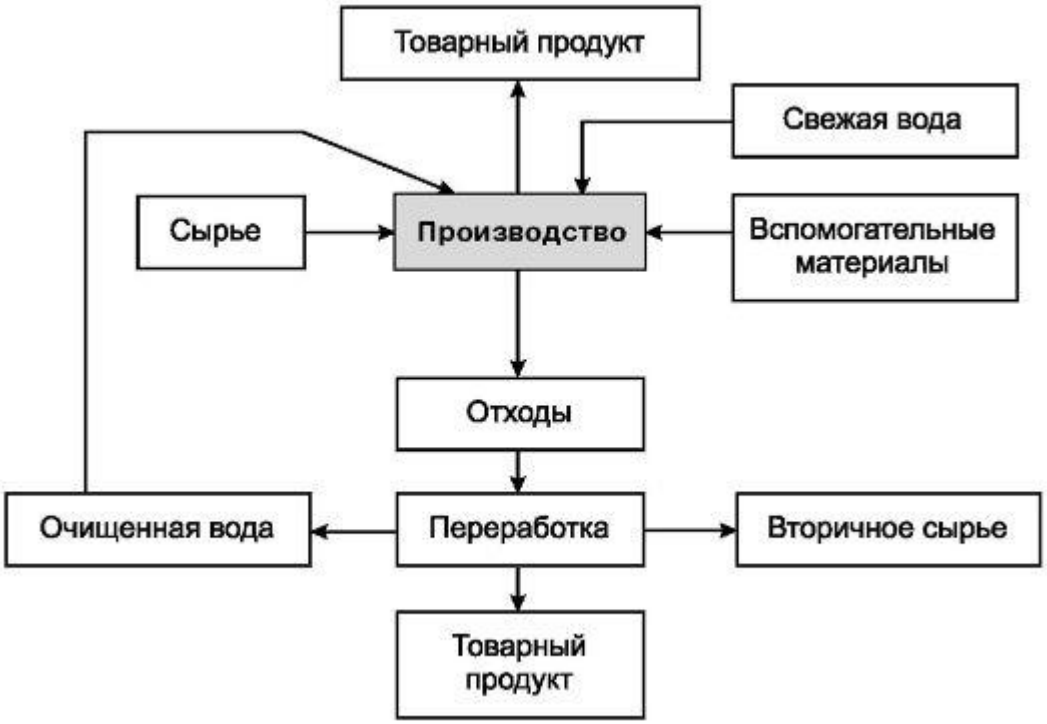


Рис. 11.1. Схема безотходного производства.

Лишь в некоторых случаях законодательством предусмотрены мероприятия, запрещающие использование природных водных объектов в качестве приемника отходов производства и потребления *(запретительные мероприятия)*. Санитарными правилами «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» не допускается сброс в водные объекты сточных вод, содержащих вещества, для которых не разработаны ПДК, возбудители инфекционных болезней бактериальной, вирусной и паразитарной природы. Этими же правилами запрещен сброс в водные объекты, на поверхность ледового покрова и на водосборную территорию водных объектов питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования, а также в водные объекты в черте населенных мест снега, кубовых остатков и других отходов, формирующихся на территории поселений и промышленных площадок. Запрещается сбрасывать сточные воды, которые могут быть утилизированы путем организации малоотходных производств или повторно

использованы после соответствующей обработки в промышленности, городском или сельском хозяйстве.

Запрещено сбрасывать сточные воды в некоторые участки водных объектов, используемые для наиболее ответственных видов водопользования, а именно в пределах 1-го пояса ЗСО источников питьевого водоснабжения, в пределах 1-го и 2-го поясов округов санитарной охраны курортов, рекреационных зон, в водные объекты, содержащие природные лечебные ресурсы, а также в водные объекты в черте населенных мест.

Большое значение в охране водных объектов от загрязнения имеют *ограничительные мероприятия,* направленные на уменьшение объема сточных вод, поступающих в водные объекты, снижение концентрации загрязнений, содержащихся в них, а также на регулирование сброса сточных вод во времени и пространстве и их смешения с водой водного объекта.

Система мероприятий по уменьшению загрязнения поверхностных водных объектов сточными водами включает в себя следующие группы мероприятий:

Технологические:

- изменение технологических приемов производственных процессов;
- уменьшение количества и повторное использование сточных вод;
- создание замкнутых систем водоснабжения;
- утилизация ценных веществ из сточных вод.

Санитарно-технические:

- механические, физические, химические, физико-химические приемы очистки и обезвреживания сточных вод;
- биологические приемы очистки;
- глубокая (третичная) очистка биологически очищенных сточных вод.

Вспомогательные:

- раздельное канализование отдельных цехов и предприятий;
- регулирование сброса сточных вод (накопители, усреднители, рассеивающий выпуск).

Планировочные:

- районное канализование в масштабах промрайона или бассейна водного объекта;
- взаиморасположение мест водозабора и сброса сточных вод;
- переброска сточных вод через водораздел в бассейн другого водного объекта.

11.2. Технологические мероприятия

Технологическим мероприятиям принадлежит определяющая роль. Основное направление разработки технологических мероприятий - стремление к созданию малоотходных, а в перспективе безотходных производств с *уменьшением количества воды, используемой в технологическом процессе.* В последние десятилетия в промышленности определилась тенденция к сокращению удельного расхода воды на единицу товарной продукции. В каждой отрасли на новых крупных предприятиях оборотное водоснабжение достигает максимально возможной при существующем техническом уровне величины. На предприятиях черной и цветной металлургии водооборот по отрасли составляет около 80%, на предприятиях химической промышленности - около 83%, целлюлозно-бумажной промышленности - около 65%.

Технологические мероприятия весьма эффективны в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. В результате замены в процессе обезвоживания нефти анионоактивных СПАВ неионогенными концентрация нефти в стоках электрообессоливающих установок снижается в десятки раз. Перспективны повышение единичной мощности различных агрегатов, использование в оборотных системах промышленного водоснабжения бытовых сточных вод, прошедших глубокую очистку. На современных нефтеперерабатывающих заводах оборот технологической воды достигает 96%.

Количество сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий или концентрацию в них загрязнений позволяют уменьшить сухая окорка древесины, замена барометрических конденсаторов поверхностными. Весьма эффективно использование биологически очищенных сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов в основной технологии производства картона. Это позволяет снизить расход чистой воды до величины безвозвратных потерь и обеспечивает экономию воды 3-4 $м^3$ на 1 т готовой продукции.

Применение *оборотного водоснабжения* на разных производствах позволяет в 10-50 раз уменьшить потребление природной воды. Например, для выработки 1 т каучука при прямоточном водоснабжении в старых производствах требуется 2100 $м^3$ свежей воды, а при оборотном водоснабжении - лишь 165 $м^3$. В некоторых отраслях промышленности реально создание бессточных предприятий на основе замкнутых водооборотных циклов.

Примером *утилизации ценных веществ, содержащихся в сточных водах,* является извлечение из фильтровой жидкости при производстве соды товарных продуктов - хлорида кальция и хлорида аммония, что приводит к уменьшению не только концентрации, но и объема сточных вод. На целлюлозно-бумажных комбинатах часть иловых осадков очистных сооружений производственной канализации добавляется в картонную массу в качестве наполнителя (5-10% массы готового продукта).

Большой резерв экономии воды имеется в жилищно-коммунальном секторе городов. В водном балансе городов большие объемы питьевой воды расходуются там, где можно использовать техническую воду и очищенные сточные воды. Это мытье автомобилей, заполнение городских прудов и декоративных водоемов, полив улиц и зеленых насаждений, кондиционирование воздуха на предприятиях, охлаждение оборудования в кинотеатрах, магазинах и др.

В жилищном секторе уменьшение расхода воды связано в первую очередь с внедрением совершенного оборудования, обеспечивающего устранение утечек воды в распределительных водопроводных сетях и в санитарно-технических устройствах, установка в жилых и общественных зданиях водомерных счетчиков, баков-аккумуляторов и регуляторов давления воды.

11.3. Санитарно-технические мероприятия

Санитарно-технические мероприятия, или очистка сточных вод, играют основную роль в предупреждении загрязнения водных объектов городскими (бытовыми) сточными водами. Очистка городских сточных вод проблему охраны водных объектов от загрязнения радикально не решает, но может предотвратить попадание в водные объекты 85-90% загрязнений. Очистка создает предпосылки для эффективного обеззараживания городских сточных вод, в результате чего они становятся эпидемически безопасными.

Задачи, стоящие при очистке городских сточных вод:

- освобождение сточной жидкости от взвешенных минеральных и органических веществ (механическая очистка);
- освобождение от растворенных и коллоидных органических веществ (биологическая очистка);
- освобождение от патогенной микрофлоры (обеззараживание или дезинфекция);
- обезвреживание и утилизация осадков очистных сооружений.

Перечисленные задачи на очистных сооружениях решаются последовательно на этапах *механической очистки, биологической очистки и обеззараживания (дезинфекции).* В осложненной санитарной ситуации после биологической очистки добавляют этап доочистки *(третичная, или глубокая, очистка).* Осложненная санитарная ситуация - это высокая плотность населения, мощные производственные комплексы в регионах с ограниченными водными ресурсами, особо охраняемые водные объекты (источники питьевого водоснабжения, территории рекреационных зон).

Первым сооружением *механической очистки является решетка.* Она служит для задержания крупных примесей - тряпок, бумаги, ваты и т.п. Решетка представляет собой

ряд параллельных металлических прутьев, скрепленных вместе и поставленных вертикально в коллекторе, подводящем воду к очистным сооружениям (рис. 11.2.). Просветы между прутьями 16-30 мм. Накопившиеся на решетках крупные примеси на станциях производительностью более 10 000 $м^3$ сточной жидкости в сутки удаляют механическими граблями. Примеси гидротранспортом подаются в дробилку. Измельченная масса из дробилки поступает в ток жидкости перед решеткой. На небольших станциях крупные примеси собирают с решетки вручную вилами в контейнеры и вывозят на свалку.

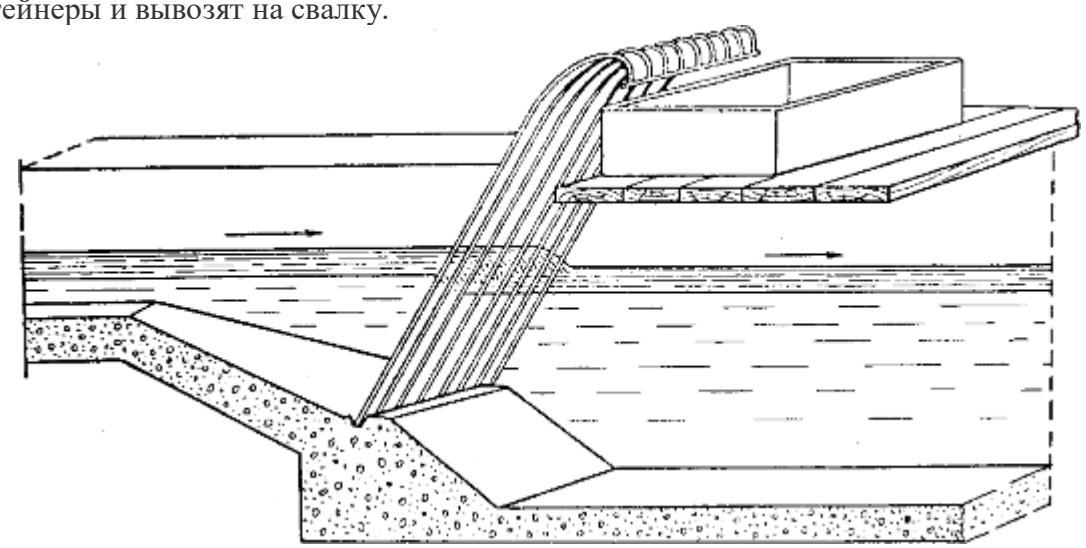


Рис. 11.2. Решетка с ручным отделением крупных отходов.

Решетки размещаются в специальном отапливаемом здании (грабельный цех), оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей пятикратный (не менее) воздухообмен. Каналы, в которых устанавливаются решетки, должны быть оборудованы местной вытяжной вентиляцией.

Песколовки предназначаются для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей, главным образом песка. Это отстойники, скорость движения жидкости в которых рассчитана таким образом, чтобы успели осесть тяжелые минеральные частицы (песок), а легкий осадок органического происхождения оказался вынесенным. Конструктивно различают горизонтальные песколовки с прямолинейным движением воды и вертикальные с круговым движением воды. Расчетная эффективность осаждения песка 65%. В настоящее время получают распространение аэрируемые песколовки, в которые через дно поступает сжатый воздух. Это способствует отмыванию песка от хлопьев органической взвеси.

Песок из песколовки каким-либо приспособлением (эрлифт, шнековый или ковшовый элеватор) подается в бункер, из которого вывозится автомашиной на песковые площадки для подсушивания. Песок можно использовать для выравнивания рельефа при вертикальной планировке территории, в дорожном строительстве.

Горизонтальные песколовки простые и высокоэффективные, но их устойчивая работа нарушается при колебаниях расхода сточных вод. Сооружения из нескольких секций позволяют бороться с этим недостатком. Вертикальные песколовки более компактны. Они также достаточно эффективны, так как, кроме силы тяжести, на оседание песка влияют еще и центробежные силы, хотя мелкие фракции песка в них не задерживаются.

После песколовок в сточной жидкости остается основная масса нерастворенных взвешенных веществ, преимущественно органического происхождения. Их удаляют отстаиванием. В отличие от зернистых минеральных частиц, органические хлопья имеют различную конфигурацию и низкую относительную плотность. Процесс осаждения таких частиц весьма сложен. При осаждении частицы слипаются, увеличиваются их размер и масса (агломерация), вследствие чего они осаждаются быстрее. В то же время в токе

жидкости частицы размельчаются, что замедляет осаждение. Насыщение хлопьев газами, выделяющимися из воды, приводит к их всплыванию на поверхность. Осаждение органических хлопьев из сточной жидкости осуществляется в *отстойниках.*

Отстойники, в которые поступает сточная вода до биологической очистки, называются первичными. По конструкции отстойники делятся на горизонтальные и вертикальные. Частным случаем горизонтальных отстойников является радиальный отстойник.

Горизонтальный отстойник (рис. 11.3) представляет собой прямоугольный резервуар с отношением ширины к длине не менее 1:4 и глубиной до 4 м. Сточные воды по каналу подводятся к торцовой стенке отстойника, где при помощи поперечного лотка с водосливом равномерно распределяются по ширине отстойника.

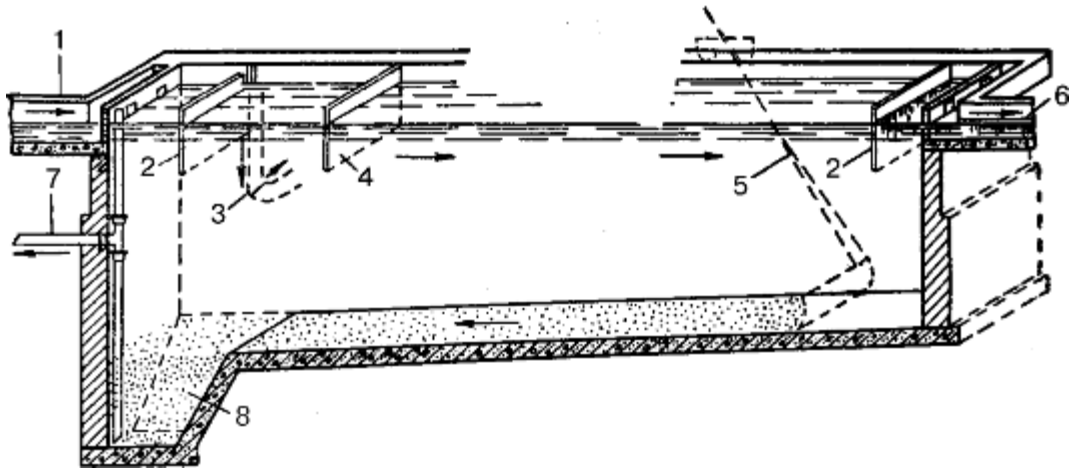


Рис. 11.3. Горизонтальный отстойник.

1 - приток сточной воды; 2, 4 - порог для образования ламинарного потока; 3 - труба для удаления жира и пены в жировой колодец; 5 - устройство для сгребания осевшего ила; 6 - выход осветленной воды; 7 - переливная труба; 8 - приямок для сбора ила.

С противоположной стороны сооружения устраивается водослив для сбора и отведения осветленной жидкости. Осадок собирается в приямок в горизонтальном отстойнике с помощью механических приспособлений - илоскребов различных конструкций и периодически удаляется в иловый колодец. Строительными нормами предусматривается сооружение горизонтальных отстойников на станциях производительностью более 15 000 $м^3$ сточной жидкости в сутки. Преимуществами горизонтальных отстойников являются высокая эффективность осветления (до 50%) и устойчивость работы. Небольшая глубина позволяет строить горизонтальные отстойники при высоком уровне грунтовых вод. Недостатками горизонтальных отстойников являются сложность и малая надежность скребкового механизма для сбора осадка.

Радиальные отстойники круглые, диаметром от 16 до 40 м, иногда до 60 м, глубиной 0,1 диаметра. Сточная жидкость подается в центральную трубу сооружения, осветленная вода собирается круговым лотком. Разность скоростей течения в центре и на периферии радиальных отстойников способствует более полному осаждению осадка. Радиальные отстойники рекомендуются на станциях производительностью более 20 000 $м^3$ сточной воды в сутки. Они обеспечивают такую же эффективность, как и горизонтальные, но только при постоянном режиме поступления сточной жидкости. Если в разное время суток поступает сточная жидкость различной плотности, зависящей от температуры воды, концентрации взвеси и т.д., как на глубине, так и на поверхности, то образуются вихревые течения, ухудшающие условия отстаивания.

Вертикальные отстойники (рис. 11.4) - круглые цилиндрические резервуары диаметром до 10 м с дном в виде опрокинутого конуса.

Сточная жидкость подается по лотку в центральную трубу сооружения. Достигнув отражательного щита, поток сточных вод изменяет направление с вертикального

нисходящего на горизонтальное, а затем на вертикальное восходящее. Осаждение взвешенных веществ происходит при восходящем движении жидкости. В осадок выпадает взвесь, имеющая скорость осаждения большую, чем скорость восходящего потока. Частицы равной восходящей скорости, находясь во взвешенном состоянии, агломерируются. При этом их скорость осаждения возрастает, и они также со временем оседают. Частицы со скоростью осаждения меньшей, чем скорость восходящего потока, выносятся из отстойника. Вертикальные отстойники сооружаются на станциях производительностью до 20 000 м^3/сут.

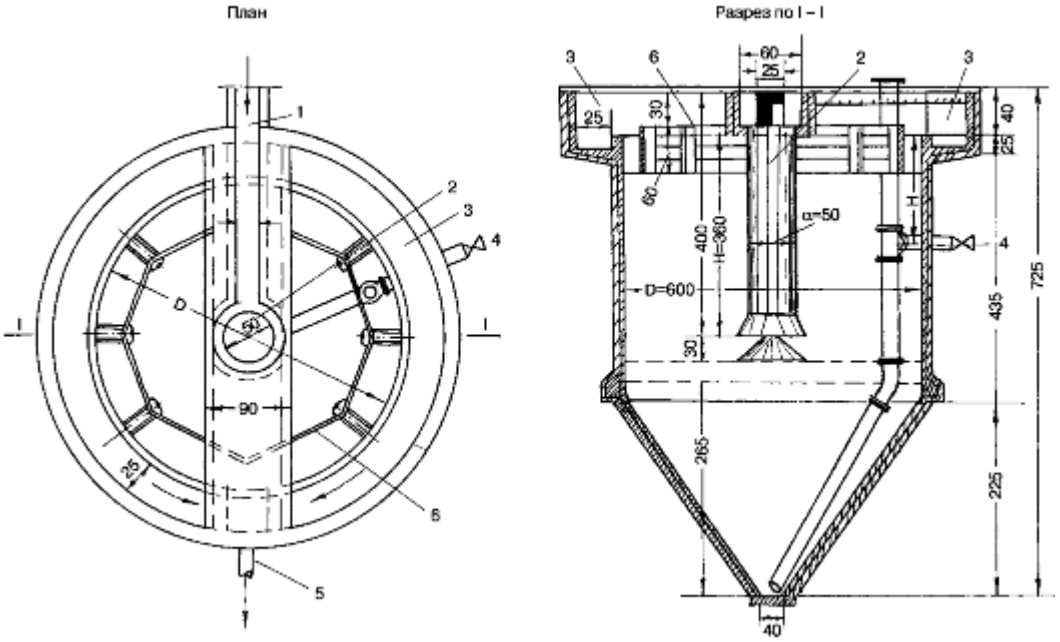


Рис. 11.4. Вертикальный отстойник.

1 - приток сточной воды; 2 - центральная труба; 3 - кольцевой сборный лоток; 4 - иловая труба; 5 - трубопровод осветленной воды; 6 - полупогруженные доски для обеспечения ламинарности потока.

Они занимают небольшую площадь и удобны в эксплуатации, так как не имеют механических илоскребов, но эффект осветления низкий - до 30% по взвешенным веществам. Большая глубина вертикальных отстойников (7- 9 м) при ограниченном диаметре повышает их строительную стоимость.

Остаточное содержание взвешенных веществ в сточной жидкости, направляемой на сооружения биологической очистки, не должно превышать 150 мг/л. Нарушение этого правила может привести к заиливанию и выходу из строя биофильтров, увеличению времени аэрации и расхода воздуха в аэротенках.

Расчетная эффективность первичных отстойников не более 60%; на практике удается задержать лишь 30-50% взвешенных веществ. Следовательно, при исходной концентрации взвешенных веществ в сточной жидкости выше 250-350 мг/л трудно достигнуть требуемого эффекта осветления в первичных отстойниках. Существует ряд технологических приемов, позволяющих повысить эффективность механической очистки. В емкостях, устанавливаемых перед первичными отстойниками, сточную жидкость продувают воздухом - аэрируют. При этом происходит флоккуляция коллоидных веществ, частицы взвеси укрупняются и более плотно оседают в отстойниках. Предварительная аэрация позволяет повысить эффективность работы отстойников на 5-8%.

Первичный вертикальный отстойник со встроенным преаэратором получил название *биокоагулятора.* Кроме воздуха, в биокоагулятор подается активный ил. В биокоагуляторе происходят адсорбция хлопьями активного ила тонкодисперсной взвеси и коллоидов и частичное окисление адсорбированных веществ. Эффект осветления достигает 65-75%. Биокоагуляция снижает БПК сточной жидкости на 25-35%, а также уменьшает содержание ионов тяжелых металлов.

Основной целью *биологической очистки* городских сточных вод являются разложение и минерализация органических веществ, находящихся в коллоидном и растворенном состоянии. Эти вещества нельзя удалить из стоков механическим путем. В водном объекте они могут создать дефицит кислорода, а иногда вызывают развитие анаэробных процессов, гниение с резким снижением качества воды. С гигиенической точки зрения полная минерализация всех органических примесей сточных вод не считается необходимой. Задача биологической очистки городских сточных вод состоит в минерализации органических веществ до такой степени, при которой сточные воды можно было бы сбросить в водный объект, не нарушая его санитарного режима. В зависимости от местных условий, т. е. от вида и цели использования водного объекта, без ущерба для его санитарного состояния можно использовать и его *ассимилирующую способность,* под которой понимают разбавление сточных вод водой водного источника и процессы самоочищения.

Распад и минерализация органических веществ при биологической очистке сточных вод происходят так же, как и в естественных условиях, в результате жизнедеятельности сапрофитной микрофлоры. Освобождение сточных вод от органических веществ происходит в две фазы. Первая - фаза сорбции. В основе ее лежат физико-химические процессы адсорбции органических веществ и коллоидов поверхностью микробной клетки. Вторая фаза - последовательное окисление растворенных и адсорбированных органических веществ, в основе которого лежит усвоение микроорганизмами органических веществ в качестве пластического и энергетического материала.

Распад органических соединений разных классов происходит в определенной последовательности и с различной скоростью. Разложение углеводов до углекислого газа и воды идет чрезвычайно быстро, всего несколько часов. Медленнее окисляются жиры. Наиболее сложно и длительно осуществляется распад белковых веществ, поступающих в сточные воды большей частью в виде мочевины. Мочевина гидролизуется под влиянием фермента уреазы уробактерий до карбоната аммония:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3.$$

На следующем этапе под влиянием микроорганизмов *Nitrosomonas* аммонийные соли окисляются в нитриты:

$$(NH_4)_2CO_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + CO_2 + 3H_2O + 0{,}62 \text{ кДж (148 кал)}.$$

Последующий этап осуществляется микроорганизмами *Nitrobacten*

$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3 + 0{,}18 \text{ кДж (44 кал)}.$$

Как видно из приведенных уравнений, нитрификация связана с потреблением большого количества кислорода, что учитывается при организации биологической очистки. Нитрификация - процесс экзотермический; это значительно облегчает эксплуатацию очистных сооружений в зимнее время. Нитрификацию следует рассматривать не только как минерализацию азотистых органических шлаков, но и как накопление связанного кислорода в воде. При дефиците кислорода в водном объекте связанный кислород нитратов может быть мобилизован в процессе денитрификации.

Описанные процессы минерализации происходят в естественных условиях в почве и водных объектах и являются основой самоочищения. При урбанизации, высокой концентрации населения естественная скорость и интенсивность этих процессов оказываются недостаточными для своевременного обезвреживания выделений человека. Указанное обстоятельство побудило к интенсификации процессов самоочищения - созданию различных искусственных сооружений для биологической очистки сточных вод. Технически моделируют природные условия, в которых происходит биохимический распад органического вещества. По этому принципу приемы и сооружения биологической очистки можно разделить на моделирующие процессы в почвенных условиях и в водной

среде (табл. 11.1). Раньше были созданы сооружения, основанные на моделировании процессов биохимического окисления в почве.

Поля фильтрации - специально спланированные участки земли, на которых производятся распределение и фильтрация через почву сточных вод. Никаких других функций, кроме очистки сточных вод, поля фильтрации не выполняют. Коммунальные поля фильтрации, на которых выращивают сельскохозяйственные культуры, называются *полями орошения.* Однако и для полей орошения основной задачей остается очистка сточных вод.

Таблица 11.1. Классификация методов и сооружений биологической очистки сточных вод

Иерархический уровень	Классы мероприятий (моделирование естественных процессов)			
Характер модели	В почвенных условиях		В водной среде	
Характер процесса	Экстенсивный	Интенсивный	Экстенсивный	Интенсивный
Сооружения	Поля фильтрации Поля орошения - коммунальные и земледельческие	Биофильтры Аэрофильтры	Биологические пруды	Аэротенки Циркуляционные каналы

Очистка сточных вод на полях фильтрации происходит в результате жизнедеятельности микрофлоры, населяющей почву. В 1 г почвы присутствуют сотни тысяч, а в некоторых почвах до миллиарда бактерий. При орошении сточной водой, содержащей много питательного субстрата, увлажняющей и согревающей, создаются условия для интенсивного размножения и ускорения обменных реакций почвенного биоценоза. Каждая структурная единица почвы на полях оказывается покрытой сплошным слоем микрофлоры - так называемой биологической пленкой.

На поверхности биологической пленки адсорбируются и минерализуются растворенные и коллоидные вещества сточной жидкости. Сорбционная поверхность такой пленки огромна - десятки и сотни тысяч квадратных метров на 1 $м^3$ верхнего, наиболее активного 20- сантиметрового слоя почвы. Минерализация органического вещества восстанавливает адсорбционную поверхность биологической пленки. Израсходованный на процессы окисления кислород возмещается из атмосферы. Для успешной очистки на полях необходимы обеспечение аэробного процесса и соответствие количества сточной жидкости, подаваемой на поля, их окислительной способности.

Загрязнения, приносимые со сточными водами, распределяются по глубине следующим образом. В верхнем 10-сантиметровом слое задерживаются яйца гельминтов. Лишь отдельные экземпляры находили на глубине до 30 см и только в песчаных почвах. Микробное загрязнение поглощается в верхнем слое почвы высотой 25-30 см. Минерализация органического вещества в основном происходит в полуметровом слое. В очистке сточных вод в той или иной степени участвует слой грунта 1,5-2 м.

Непосредственная связь гравитационной воды полей орошения с грунтовым потоком приводит к нарушению гидростатических условий и, таким образом, к повышению скорости фильтрации, что неизбежно ведет к загрязнению грунтового потока. В связи с этим строительными нормами разрешается устройство полей орошения при уровне стояния грунтовых вод не менее 2 м.

При правильно организованных и эксплуатируемых полях орошения состав дренажной воды значительно отличается от состава неочищенной сточной жидкости. Общее количество бактерий снижается с миллионов до десятков тысяч в 1 мл, или на 95-99%, индекс кишечной палочки - с тысяч до единиц, полностью исчезает патогенная микрофлора. Биохимическая потребность в кислороде снижается до величин, допустимых в поверхностных водных объектах. Такой эффект очистки позволяет дать высокую

гигиеническую оценку полям орошения и фильтрации как методу обезвреживания городских сточных вод. Однако в крупных городах при современной плотности населения и высоких нормах водопотребления необходимая площадь полей орошения должна равняться примерно площади канализуемого города, а иногда даже превосходить ее. Это обстоятельство значительно ограничивает применение полей фильтрации в качестве очистных сооружений для сточных вод крупных городов.

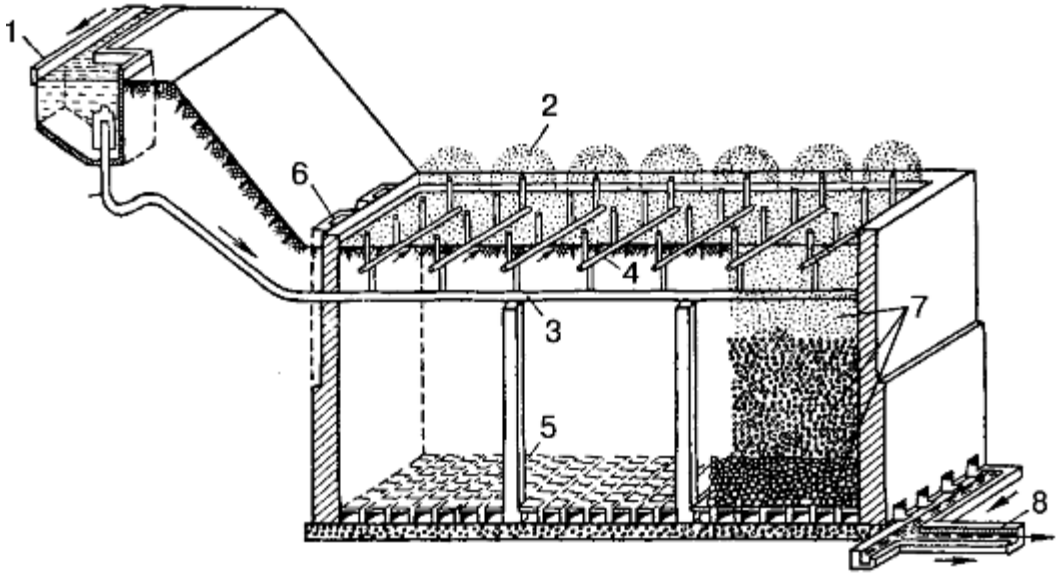
Для небольших рабочих поселков, малых городов устройство полей орошения и фильтрации можно признать весьма целесообразным в связи со сравнительной простотой их устройства и эксплуатации. Рекомендовать поля орошения для отдельно стоящих объектов в неканализованной местности (санатории, дома отдыха) не следует изза трудности обеспечения обслуживающим персоналом.

Высокие удобрительные свойства сточной жидкости и потребность в воде овощных хозяйств вблизи больших городов вызвали к жизни еще один почвенный метод обезвреживания городских сточных вод -*земледельческие поля орошения (ЗПО)*. На них выращивают огородные или кормовые культуры, сеяные травы. ЗПО могут быть круглогодичного или сезонного действия. При круглогодичном действии обеспечивается непрерывный независимо от времени года и погодных условий и круглосуточный прием непосредственно на поля или в накопители расчетного количества сточных вод без их сброса за пределы территории. При сезонном производстве сточные воды могут приниматься на земледельческие поля орошения периодически, например для влагозарядных поливов. Так, стоки крахмальных, сахарных заводов поступают и используются в основном в осенне-зимний период.

На ЗПО разрешается подавать сточную жидкость, прошедшую механическую очистку. Нормы нагрузки на ЗПО невелики: 5-15 $м^3$/(га-сут), что в 5-15 раз меньше, чем на коммунальных полях орошения. При правильной эксплуатации ЗПО не могут явиться фактором передачи возбудителей кишечных инфекций, поэтому необходим строгий и тщательный контроль соблюдения правил эксплуатации ЗПО.

Биологическая пленка почвы полей орошения, несущая основную функциональную нагрузку, не может полностью проявить свою окислительную способность из-за недостаточного притока кислорода. Для того чтобы усилить окисление, более полно использовать окислительные способности биоценоза, образующегося при очистке бытовых сточных вод, были созданы биофильтры.

Биофильтры (рис. 11.5) - кирпичные или железобетонные резервуары, заполненные неразмокающим крупнозернистым материалом (шлак, гранитный щебень), который орошается с поверхности сточной жидкостью. Загрузочный материал заселяется бактериями, грибами, простейшими и другими организмами, т.е. создается биологическая



пленка.

Рис. 11.5. Биологический фильтр.

1 - дозирующий бак; 2 - спринклеры; 3 - магистральная труба; 4 - распределительные трубы; 5 - дренажное дно из плиток; 6 - каналы для входа воздуха в дренажное пространство; 7 - загрузка фильтра (гранитный щебень); 8 - канал для отвода очищенной воды.

В начале работы биофильтра микрофлора адсорбируется на поверхности элементов загрузки, а затем интенсивно размножается и обеспечивает биохимические процессы, о которых говорилось выше.

Практика показала, что высота загрузки биофильтра не должна быть более 1,5-2 м. Общая поверхность биологической пленки достигает 500 $м^2$ на 1 $м^3$ загрузки, т.е. во много раз меньше, чем в почве. Однако окислительная способность биофильтра значительно выше из-за хорошей аэрации фильтра через поры, образующиеся между кусками загрузки. Сточная жидкость просачивается через тело фильтра в течение 2-3 ч, и уже за это время в ней появляются нитриты. В почвенных условиях этот процесс занимает недели.

Для эффективной работы биофильтра необходимо организовать равномерное по площади и периодическое по времени орошение тела фильтра. Это достигается различными устройствами - спринклерами, наливными колесами, карусельными распределителями, опрокидывающимися лотками, бачками Мюллера. Несмотря на значительно лучшие условия аэрации на фильтре по сравнению с почвой, добиться максимального использования окислительной способности биологической пленки не удается, так как естественное просачивание воздуха зависит от наружной температуры, температуры сточной воды, степени развития пленки и многих других факторов.

Для повышения окислительной способности биофильтра устраивают искусственную аэрацию тела фильтра путем подачи компрессором сжатого воздуха в дренажное пространство. При этом появляется возможность увеличить высоту загрузки с 2 до 4 м, окислительная мощность возрастает в 3-4 раза. Такие сооружения получили название *аэрофильтров,* или *высоконагружаемых биофильтров.* В *башенных биофильтрах* загрузка располагается по вертикали ярусами высотой 2-4 м, разделенными решеткой; высота сооружения 6-10 м. При этом создается тяга, как в аэродинамической трубе, и искусственная вентиляция необязательна.

Биологические пруды - искусственные водоемы, в которых очистка сточных вод происходит в условиях, наиболее близких к естественному самоочищению. Небольшая глубина прудов (от 0,5 до 1 м) позволяет создать значительную поверхность аэрации и обеспечить прогрев всей толщи воды и хорошее перемешивание. При этом создаются благоприятные условия для массового развития водных организмов, в том числе растений, которые ассимилируют биогенные элементы и обогащают воду кислородом, необходимым для окисления органических веществ бактериями.

Биологические пруды обеспечивают высокоэффективную очистку - количество кишечной палочки снижается на 95,9-99,9% исходного, почти полностью задерживаются яйца гельминтов.

Нормальный ход очистки в биологических прудах возможен лишь в теплое время года. При температуре воды ниже 6 °С очистка резко ухудшается, что ограничивает использование биологических прудов как самостоятельных сооружений. При необходимости повышенной очистки сточных вод биологические пруды можно устраивать после биофильтров или аэротенков как 3-ю ступень очистки.

Аэротенки. Использование для интенсивной очистки бытовых сточных вод биологических агентов в толще перемещающегося слоя воды предложено в 1887 г. Первые сооружения этого типа - аэротенки - построены в 1914 г. Работа аэротенков основана на использовании тех же процессов биохимического окисления органических веществ, что и на биофильтрах. Аэротенк представляет собой резервуар, в котором медленно протекает смесь так называемого активного ила и сточной жидкости, подлежащей очистке. Для обеспечения нормальной жизнедеятельности микрофлоры активного ила в аэротенк непрерывно подается сжатый воздух, который насыщает

кислородом и перемешивает смесь сточной воды и активного ила. Это обеспечивает полный и непрерывный контакт компонентов и эффективность окисления.

Биоценоз активного ила представлен микроорганизмами-минерализаторами, способными сорбировать на своей поверхности и окислять с помощью кислорода воздуха органические вещества сточной жидкости. Видовой состав биоценоза активного ила весьма разнообразен. Процесс биологического окисления в аэротенке можно условно разделить на 3 стадии. На I стадии сразу же после смешения сточных вод с активным илом происходят адсорбция им загрязнений сточных вод и окисление легкоокисляющихся (жиры, углеводы) веществ. В результате БПК очищаемых сточных вод снижается на 40-80%.

I стадия обычно продолжается 1/2 -*2* ч. На II стадии происходят разложение медленно окисляющихся веществ (органические соединения азота) и в результате регенерация активного ила, т.е. восстановление его адсорбционной способности. На III стадии происходит нитрификация аммонийных солей, образовавшихся в результате

II стадии очистки. Продолжительность всех 3 стадий для городских сточных вод 6-8 ч. Для получения надежных результатов очистки, при которых БПК очищенных сточных вод не превышает 15-20 мг/л, концентрация нитратов должна быть не менее 6 мг/л.

Имеется несколько технологических схем очистки на аэротенках. Самая распространенная и простая - полная очистка в одноступенчатых аэротенках без регенерации. Однако при этой схеме биохимическое окисление по длине аэротенка происходит неравномерно. Вторая схема - полная очистка в одноступенчатых аэротенках с регенераторами. В аэротенке проходит I стадия очистки, иловая смесь направляется во вторичный отстойник, откуда возвратный ил перекачивается в регенератор, по конструкции не отличающийся от аэротенка. В регенераторе осуществляются II и III стадии процесса окисления, в результате чего активные свойства ила восстанавливаются, и он снова поступает в начало аэротенка. Такая схема позволяет уменьшить общий объем аэротенков на 10-15%. По третьей схеме производится полная очистка в двухступенчатых аэротенках: в 1-й ступени аэротенков происходит частичная очистка сточных вод, затем после осветления во вторичных отстойниках они поступают во 2-ю ступень. В этих условиях в активном иле 1-й и 2-й ступеней развиваются специфические аэробные микроорганизмы, приспособленные к конкретным условиям. В результате получается высокоэффективная полная очистка при некотором снижении объема аэротенков и воздуха для их аэрации.

Окислительную мощность аэротенка можно увеличить равномерным смешением поступающих сточных вод и активного ила со всей массой уже очищенных сточных вод, находящихся в аэротенке. Такое сооружение получило название «аэротенк-смеситель». Сточные воды и активный ил подаются в аэротенк-смеситель рассредоточенно по длине одной стороны аэротенка на расстоянии 3-4 м друг от друга. Очищенная жидкость собирается на стороне, противоположной впуску. Иловая смесь, таким образом, протекает не вдоль, а поперек аэротенка. В аэротенке-отстойнике в одном сооружении происходит как окисление сточной воды, так и осаждение активного ила. Зоны окисления и осаждения расположены параллельно и разделены наклонной продольной перегородкой, не доходящей до дна. Иловая смесь после аэрации поступает снизу в зону отстаивания и проходит снизу вверх через слой взвешенного осадка. В аэротенках-отстойниках не требуется перекачки возвратного активного ила из вторичных отстойников в аэротенки; кроме того, общий объем сооружения получается на 20-30% меньше объема обычных аэротенков и вторичных отстойников.

После биологической очистки на биофильтрах и аэротенках сточная жидкость поступает на *вторичные отстойники* для осаждения оторвавшейся биологической пленки или активного ила. Конструкция вторичных отстойников не отличается от первичных. Время пребывания сточной жидкости зависит от способа биологической очистки и колеблется от 0,75 до 1,5 ч.

Обеззараживание - заключительный этап обработки городских сточных вод. Выпуск в водные объекты даже биологически очищенных сточных вод неизбежно связан с угрозой внесения в них патогенных бактерий и вирусов - возбудителей кишечных инфекций. До настоящего времени возникновение большинства вспышек брюшного тифа было обусловлено активизацией водного фактора; встречаются и вспышки дизентерии водного происхождения. Вирусы, играющие все большую роль в эпидемиологии инфекционных заболеваний, лишь частично задерживаются на механическом и биологическом этапах очистки сточных вод. Перед сбросом в водные объекты необходимо обеззараживать очищенные бытовые сточные воды.

В качестве обеззараживающего агента чаще всего используют хлор, как газообразный, так и в виде хлорной извести. Большие перспективы раскрываются перед методом электролиза для получения активного хлора на станциях очистки сточных вод. При этом нет необходимости в транспортировке и хранении сжиженного и газообразного хлора, что значительно упрощает обеззараживание. Оборудование для дозирования реагентов то же, что и при обеззараживании питьевой воды. Однако у метода хлорирования сточных вод есть серьезные гигиенические и экологические ограничения. Для эффективного хлорирования, т.е. гарантии отсутствия в обработанной сточной воде патогенных микроорганизмов, при технологически обусловленном времени контакта 30 мин концентрация остаточного хлора должна быть не менее 1,5 мг/л. Для достижения этой величины исходная доза активного хлора составляет в соответствии со строительными правилами десятки миллиграммов на 1 л. Биологически очищенные городские сточные воды, имеющие уровень БПК 15-20 мг/л, несут достаточное количество органических соединений различных классов, способных к окислению. При хлорировании в сточной воде образуются стойкие хлорорганические соединения в токсических для биоты водного объекта и человека концентрациях, поэтому необходимо большое разбавление при спуске в водный объект. Остаточный хлор в концентрации 1,5 мг/л также оказывает губительное действие на биоту водного объекта. Немаловажна и высокая взрывоопасность складов жидкого хлора. Указанные обстоятельства вынуждали разрешать сброс сточных вод систем канализации крупных городов без обеззараживания в ущерб эпидемической безопасности. Последние 10 лет в практику обеззараживания сточных вод успешно внедряется метод ультрафиолетового облучения. Первая установка ультрафиолетового обеззараживания сточных вод была создана в 1982 г. в Канаде. В настоящее время в мире действует более 2000 установок. В России такие установки с современными бактерицидными лампами низкого давления начали применять с 1991 г. С 2000 г. действуют установки ультрафиолетового облучения на Зеленоградской станции аэрации (Московская область) (рис. 11.6), городских очистных сооружениях канализации Самары, Тольятти и в десятках других городов и поселков. Ультрафиолетовые лучи оказывают выраженное биоцидное действие в отношении различных микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и грибы. Бактерицидный эффект ультрафиолетовых лучей не сопровождается образованием опасных продуктов трансформации химических веществ в воде.

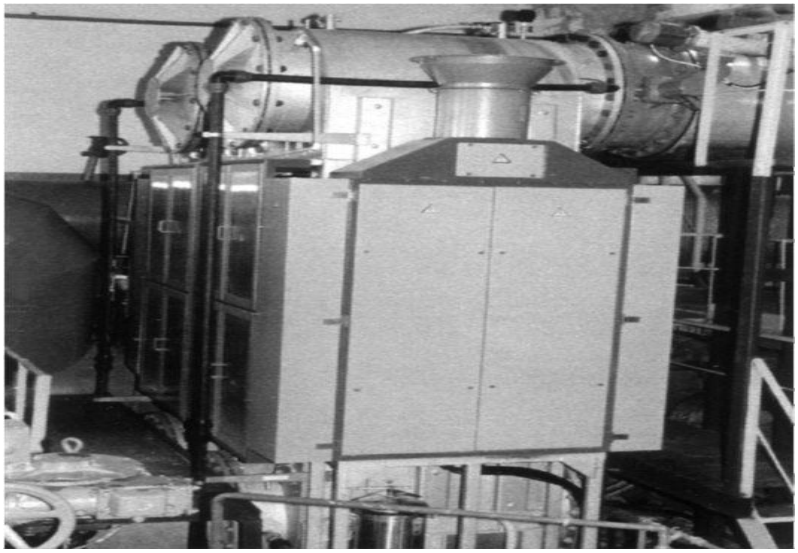


Рис. 11.6. Общий вид установки обеззараживания сточных вод ультрафиолетовыми лучами.

При ультрафиолетовом обеззараживании сточных вод отсутствует пролонгированный биоцидный эффект, который мог бы оказатьвредное воздействие на биоту водного объекта - приемника сточных вод. К технологическим достоинствам метода относится незначительное время контакта ультрафиолетовых лучей со сточными водами. Однако должная гигиеническая эффективность и надежность обеззараживания обеспечиваются лишь при определенном качестве сточных вод (табл. 11.2). Допустимые уровни должны быть достигнуты по всем 5 показателям.

Таблица 11.2. Критерии качества сточных вод, поступающих на обеззараживание ультрафиолетовыми лучами

Показатели	Допустимые уровни
Взвешенные вещества, мг/л	Не более 10
$БПК_5$, мг O_2/л	Не более 10
ХПК, мг О/л	Не более 50
Термотолерантные колиформные бактерии, КОЕ/л	Не более 510^6
Колифаги, БОЕ /л	Не более 510^4

При обеззараживании сточных вод с указанными показателями необходима доза ультрафиолетовых лучей не менее 30 мДж/см^2, что в 2 раза превышает дозу для обеззараживания питьевой воды. Это объясняется тем, что коэффициент поглощения ультрафиолетовых лучей сточной водой примерно в 2 раза больше, чем коэффициент поглощения речной водой, и в 2-5 раз больше, чем коэффициент поглощения подземными водами.

Обезвреживание осадков очистных сооружений

Осадок (ил) городских сточных вод, выпадающий в первичных отстойниках, имеет влажность 92-96%. Сухой остаток состоит на 70- 80% из органического вещества, что сообщает илу многие неблагоприятные санитарные свойства: он не подсыхает, распространяет зловоние, привлекает мух, легко загнивает. В 1 г сырого осадка содержатся миллиарды сапрофитных бактерий, обязательно присутствуют патогенная микрофлора и много жизнеспособных яиц гельминтов.

Избыточный активный ил, собирающийся во вторичных отстойниках, имеет влажность 99,2-99,6%. Для уменьшения объема его направляют в илоуплотнитель, где влажность ила снижается до 97-98%. Ил после илоуплотнителя обладает такими же неблагоприятными свойствами, как и таковой из первичных отстойников. Обезвреживание ила является обязательным элементом системы очистки сточных вод. Для этого необходима минерализация органических веществ различной химической природы путем сбраживания с помощью сапрофитной микрофлоры, в громадных

количествах присутствующей в осадках. Сбраживание может осуществляться анаэробным и аэробным путем.

На больших станциях (производительностью более 10 000 $м^3$/сут) происходит *анаэробное сбраживание* ила в метантенках.

Метантенк - железобетонный резервуар цилиндрической формы с коническим дном. Ил на сбраживание поступает по трубе в верхнюю часть метантенка, переработанный осадок выпускается снизу по иловой трубе. Для ускорения переработки осадок перемешивают и подогревают с помощью пара или горячей воды. Образующийся в результате брожения газ (в основном метан) собирается в газовом колпаке, расположенном в верхней части газонепроницаемого перекрытия, откуда отводится в газгольдер; впоследствии газ используют как топливо в котельной очистной станции.

Метановое брожение осадка сточных вод проходит в две фазы. В первой фазе сначала идет так называемое кислое брожение, осуществляемое анаэробными микроорганизмами, в результате которого образуется большое количество жирных кислот, аминокислот, спиртов, аммиака, сероводорода. Осадок почти не уменьшается в объеме, дурно пахнет и расположен к дальнейшему гниению. Вторая фаза - разрушение образовавшихся в первой фазе кислот до углекислоты и метана с образованием большого количества карбонатов и гидрокарбонатов, изменяющих реакцию среды от нейтральной до щелочной. Эта фаза называется щелочным, или метановым, брожением. Сапрофиты, вызвавшие первую фазу процесса, приспосабливаются к существованию в щелочной среде, при этом их активность в процессах метаболизма возрастает. В результате межвидовой конкуренции отмирает патогенная микрофлора.

Метановое брожение в производственных условиях происходит в двух диапазонах температур: 25-37 °С (мезофильное) и 40-55 °С (термофильное). Преимущества с санитарной точки зрения на стороне термофильного брожения. Время, необходимое для отмирания патогенных бактерий и вирусов, при мезофильном режиме составляет 14- 15 сут, при термофильном - 6-7 сут. Кроме того, при термофильном брожении погибают жизнеспособные яйца гельминтов.

Указанными сроками определяется и предельная суточная загрузка метантенка. При мезофильном брожении в метантенк ежесуточно загружают 6-7% объема бродящей массы осадка, при термофильном -13-14%. Такое же количество сброженного осадка выпускается ежедневно из сооружения.

На станциях производительностью до 50 000 $м^3$/сут возможно использование *аэробной стабилизации* ила в сооружениях типа аэротенка. Аэрация осуществляется в течение 7-12 сут продуванием иловой смеси воздухом при его удельном расходе 1-1,5 $м^3/м^3$ объема аэротенка. Гигиеническая характеристика ила после аэробной стабилизации такая же, как и после мезофильного сбраживания в метантенке.

Осадок, обработанный в метантенке или в аэробном стабилизаторе, не содержит коллоидных структур, благодаря чему хорошо отдает воду, не издает зловония, не привлекает мух. Влажность сброженного осадка от 92 до 97%. Для уменьшения объема производится его обезвоживание либо на иловых площадках (специально спланированные и оборудованные дренажем площадки земли), либо механическим или термическим способом.

При соблюдении режима загрузки метантенка или аэробного стабилизатора сброженный осадок безопасен в эпидемическом отношении. В то же время он содержит все биогенные элементы (фосфор, калий, азот) и более 20 микроэлементов, что определяет его ценность как удобрения и возможность использования в сельском хозяйстве. Однако если в городскую канализацию принимаются сточные воды гальванических и некоторых химических производств, осадок может содержать избыток солей тяжелых металлов, которые могут накапливаться в почве и продуктах растениеводства. Такой осадок подлежит захоронению на специально выделенных полигонах, хотя это выводит из хозяйственного оборота большие земельные площади на долгие годы и не избавляет от

миграции загрязняющих веществ в подземные воды. Перспективным представляется изыскание способов утилизации осадков в строительстве, а также ограничения приема промышленных сточных вод в городскую канализацию.

Доочистка (третичная очистка) городских сточных вод

В регионах с высокой плотностью населения и при малой мощности водных объектов - приемников сточных вод традиционные схемы очистки городских сточных вод не могут обеспечить должного гигиенического эффекта главным образом из-за того, что даже биологически очищенные воды содержат большое количество биогенных элементов - фосфора, калия и азота. Миллионами лет отработанный природный круговорот биогенных элементов резко нарушен современным процессом урбанизации. Современные мегаполисы поглощают продукты растениеводства и животноводства (в виде продуктов питания), произведенные на громадных территориях. Соответственно в сточных водах мегаполисов концентрируются метаболиты этих продуктов. В процессе механической и биологической очистки извлекается только 90% органических соединений, около 50% органического и неорганического азота, от 20 до 40% фосфора и только 5% растворимых соединений (нитраты, фосфаты, многие пестициды). В результате перечисленные вещества со сточными водами поступают в водные объекты, во много раз превышая их экологическую емкость и нарушая процессы самоочищения. Традиционные методы очистки городских сточных вод не освобождают их от техногенных синтетических органических веществ, порой вредных и опасных с токсикологической точки зрения. Совокупность дополнительных методов обработки городских сточных вод получила название *доочистки,* или *третичной очистки.*

Доочистка (третичная очистка) городских сточных вод - комплекс методов и приемов, выходящих за пределы этапов механической и биологической очистки, направленный на достижение нормативного качества восстановленной воды.

Восстановленная вода получается в результате третичной очистки городских сточных вод, она удовлетворяет гигиеническим требованиям, предъявляемым к воде, используемой в системах технического водоснабжения.

Приемы более полного удаления из сточных вод органических загрязнений (коагуляция, сорбционная очистка с применением активированных углей и других сорбентов, окислителей и т.д.), а также биогенных элементов (фосфор, калий и азот) позволяют получить воду с благоприятными органолептическими показателями, неопасную при использовании в качестве технической воды.

К третичной очистке обращаются в сложной санитарной ситуации, когда водный объект - приемник сточных вод не в состоянии принять то количество загрязнений, которое содержится в биологически очищенных сточных водах.

Третичная очистка необходима и при намечаемом повторном использовании городских сточных вод в системах технического водоснабжения или в городском хозяйстве.

Гигиенические принципы повторного использования восстановленной воды

Повторное использование городских сточных вод в промышленности и городском хозяйстве имеет ряд чисто гигиенических аспектов. Гигиенические требования к качеству восстановленной воды определяются системой технического водоснабжения, в которой предполагается использование такой воды. Ведущим фактором при этом является степень возможного прямого контакта человека с водой. Системы технического водоснабжения в зависимости от степени контакта человека с восстановленной водой делятся на *открытые,* предполагающие непосредственный контакт работающих (или населения) с восстановленной водой, и *закрытые,* исключающие такой контакт.

Сточные воды, являющиеся сырьем для получения восстановленной воды, как правило, содержат патогенные бактерии и вирусы, на 40% и более состоят из производственных стоков и поэтому содержат ряд химических соединений, способных оказывать неблагоприятное влияние на органолептические свойства воды и здоровье

населения. В частности, фенолы, СПАВ, красители и другие вещества в низких концентрациях ухудшают качество воды, приводя к появлению посторонних запахов, окраски и пенообразованию. Соли тяжелых металлов, полициклические ароматические соединения, нитрозосоединения, постоянно обнаруживаемые в городских сточных водах в относительно высоких концентрациях, оказывают мутагенное и канцерогенное действие. Кроме того, в процессе доочистки и обеззараживания сточных вод возможна трансформация химических веществ, что весьма существенно влияет на качество обработанной воды.

Исключительно сложный состав сточных вод, трансформация химических веществ в процессе очистки и обеззараживания обусловливают необходимость регламентирования условий безопасности использования восстановленной воды в техническом водоснабжении *по интегральным показателям ее состава.*

С учетом различий в степени контакта человека с восстановленной водой разработаны гигиенические критерии ее качества отдельно для открытых и закрытых систем технического водоснабжения (табл. 11.3).

Следует подчеркнуть, что безопасность использования восстановленной воды обеспечивается при *обязательном соответствии ее качества всем без исключения показателям таблицы.*

Таблица 11.3. Гигиенические критерии качества доочищенных городских сточных вод (восстановленной воды) для использования в системах технического водоснабжения

Показатели	Единицы измерения	Допустимые уровни для систем	
		открытых	закрытых
Запах	Баллы	2	-
Окраска	Столб воды, см	10	-
Взвешенные вещества	мг/дм^3	3	10
$БПК_5$	мг O_2/л	3	10
ХПК	мг О/л	30	70
Общие колиформы	КОЕ в 100 мл	20	500
Термотолерантные колиформы	КОЕ в 100 мл	10	100
Колифаги	БОЕ в 100 мл	10	100

Например, путем обработки большими дозами хлора биологически очищенных городских сточных вод можно добиться их соответствия по бактериологическим показателям требованиям, предъявляемым не только к сточной, но и к питьевой воде. Однако после такой обработки сточные воды приобретают выраженный запах и цвет и становятся токсичными для теплокровного организма, что делает их непригодными для повторного использования. При замене хлорирования озонированием обработанные сточные воды приобретают благоприятные органолептические показатели и оказываются практически нетоксичными. Вместе с тем они нередко не отвечают требованиям эпидемической безопасности.

Высокие органолептические показатели доочищенных сточных вод важны не только как косвенное свидетельство их безопасности, но и с точки зрения преодоления психологического барьера, возникающего в процессе использования сточных вод в открытых системах технического водоснабжения.

Эффективность обеззараживания сточных вод в значительной мере зависит от содержания в них взвешенных веществ. При содержании в сточных водах взвешенных веществ не более 3 мг/л и соблюдении величин других показателей, приведенных в табл. 11.3, после обеззараживания из них не высевались патогенные бактерии и вирус полиомиелита.

В современных схемах очистки городских сточных вод процессы вторичной (биологической) и третичной очистки могут быть совмещены, например на станции аэрации Южное Бутово в Москве (рис. 11.7).

На этой станции нет первичных отстойников. Сточная вода после решетки, песколовки и жироловки направляется на сооружения биологической очистки, работающие по принципу аэротенка. На этих сооружениях наряду с биохимическим окислением органических веществ осуществляются процессы денитрификации, в результате чего азотистые соединения разлагаются с выделением газообразного азота, а соединения фосфора с помощью специального реагента переходят в осадок. Очищенные сточные воды перед сбросом в реку обеззараживаются ультрафиолетовыми лучами. Аэробно стабилизированный избыточный активный ил обезвоживается на фильтр-прессах до влажности 65%. Станция полностью автоматизирована, использование компьютерных технологий позволило сократить число обслуживающего персонала до 12 человек. Качество очищенной и обеззараженной сточной воды (табл. 11.4) позволяет сбрасывать ее в водные объекты 1-й категории водопользования без угрозы их эвтрофирования или применять в закрытых системах промышленного водоснабжения.

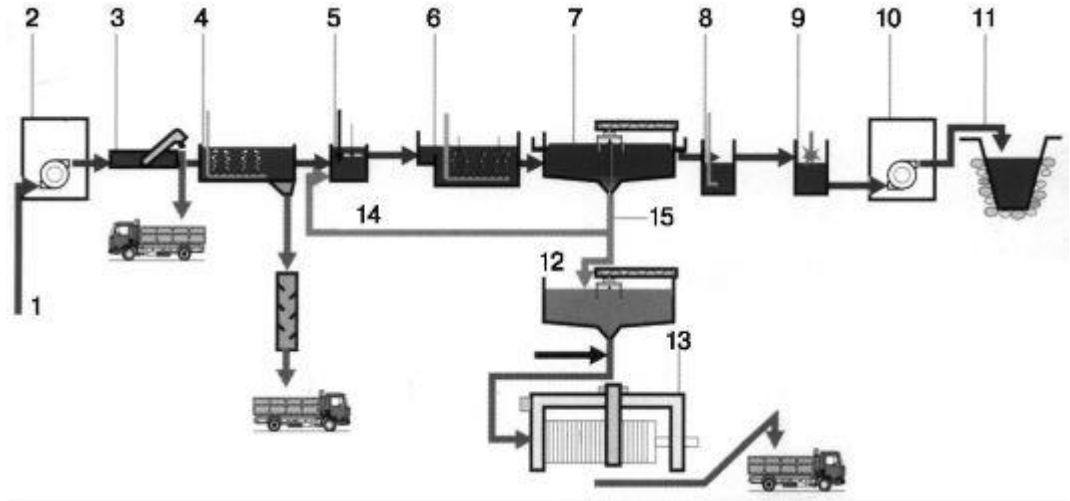


Рис. 11.7. Технология обработки сточных вод на станции аэрации Южное Бутово.

I - приток сточной воды; 2 - насосная станция; 3 - решетки; 4 - аэрируемые песко-, жироловки; 5 - биореактор для удаления фосфора; 6 - аэротенки с нитри-денитрификацией; 7- вторичный отстойник; 8 - фильтры доочистки; 9 - установка УФ-обеззараживания; 10 - насосная станция;

II - река; 12 - илоуплотнитель; 13 - фильтр-пресс; 14 - трубопровод возвратного активного ила; 15 - трубопровод избыточного активного ила.

Таблица 11.4. Показатели состава сточных вод на станции аэрации Южное Бутово

Показатель	Поступающая вода		Очищенная вода	
	проект	факт. (1999)	проект	факт. (1999)
Взвешенные вещества, мг/л	200	132	8	2
$БПК_5$, мг/л	185	107	5	3
Общий азот, мг/л	45	14	6	3,4
Аммонийный азот, мг/л	40	12,6	2	0,22
Общий фосфор (по Р), мг/л	7	4,7	1	0,64
Фосфаты (по Р), мг/л	3,5	2,9	0,8	0,53
Общие колиформы, КОЕ/л	-	-	1000	500

Очистные сооружения малой канализации. Отдельные объекты (летние оздоровительные лагеря, спортивные базы, санатории, специализированные больницы и пр.), а также небольшие поселения не всегда можно подключить к централизованной городской канализации. Описанные выше очистные сооружения с экономической и инженерной точек зрения целесообразны при количестве сточных вод не менее 1000 $м^3$/сут. Для небольших объектов такие сооружения не строят. В этом случае очистка сточных вод организуется на так называемых *сооружениях малой канализации,* способных принять и обработать от 25 до 1000 $м^3$ сточных вод в сутки. Эти сооружения

располагаются за пределами отдельного объекта или небольшого поселения и могут быть представлены отстойниками со сброженным осадком, небольшими полями фильтрации без устройства дренажа, полями подземного орошения, различными биофильтрами. В последнее время большое распространение получают компактные установки заводского изготовления с полным окислением сточных вод.

С целью обезвреживания осадка сточных вод в схемах малой канализации применяют отстойники специальной конструкции, совмещающие процессы отстаивания сточной жидкости и сбраживания осадка. Наибольшее распространение получили септики и двухъярусные отстойники.

Септик представляет собой железобетонный резервуар, в котором сточная жидкость движется с очень малой скоростью. Выпавший осадок находится в септике от 6 до 12 мес, в течение которых он подвергается анаэробному сбраживанию. Чтобы обеспечить малую скорость движения сточной жидкости и длительное пребывание осадка, объем септика должен быть не менее троекратного суточного расхода сточной жидкости.

Преимущество септика состоит в том, что процент задержки взвешенных веществ в нем довольно высок (до 70-80), а сбраживание осадка осуществляется непосредственно в самом сооружении. В результате сбраживания влажность осадка уменьшается с 97 до 85% благодаря разрушению коллоидной структуры органических веществ; гибнет значительное количество патогенной микрофлоры. Однако вследствие непрерывного поступления в септик новых порций осадка распад органического вещества часто идет лишь до образования жирных кислот без последующего разложения их на метан и углекислоту.

Мельчайшие пузырьки газа, выделяющиеся в результате сбраживания осадка, поднимаются и увлекают за собой иловые частицы, которые образуют на поверхности септика уплотненную корку толщиной 0,35-0,4 м, иногда 1 м. Сточная вода, находясь в течение 1 - 2 сут в септике между двумя слоями осадка, лишена естественной аэрации; всплывающие частицы ухудшают состав сточной воды, увеличивая ее БПК, придавая ей запах сероводорода и кислую реакцию. Дальнейшая очистка такой воды затрудняется.

В течение года 1-2 раза 80% осадка удаляют из септика ассенизационной машиной, 20% остаются для контаминации анаэробными микроорганизмами вновь поступающего осадка. Извлеченный осадок легко подсушивается, его можно использовать в качестве удобрения. При этом необходимо учитывать, что яйца гельминтов в осадке сохраняют жизнеспособность. Септики применяют для очистки сточных вод объемом до 25 $м^3$/сут. При количестве сточных вод от 25 до 1000 $м^3$/сут целесообразно устройство двухъярусных отстойников.

Двухъярусный отстойник (эмшер). В этом сооружении пространство, в котором происходит выпадение взвеси (верхний ярус), отделено от скапливающегося на дне осадка (нижний ярус). Ярусы сообщаются между собой при помощи продольной щели. Осадок находится в септической части отстойника 60-120 дней, в течение которых подвергается сбраживанию. Процесс сбраживания, в отличие от такового в септике, проходит две фазы, как в метантенке. Сброженный осадок приобретает черный цвет, легко отдает влагу, лишен неприятного запаха, в значительной степени освобождается от патогенной микрофлоры и яиц гельминтов. Осадок частично удаляют каждые 10 дней под гидростатическим давлением на иловые площадки.

При необходимости биологической очистки сточных вод, прошедших септик и двухъярусный отстойник, наряду с обычными полями орошения или фильтрации применяют *поля подземной фильтрации* (при количестве сточных вод до 15 $м^3$/сут), устроенные в песчаных и супесчаных грунтах. Оросительные трубы укладывают на слой гравия, щебня или шлака на глубину 0,5-1,8 м от поверхности земли и не менее чем на 1 м выше уровня грунтовых вод. Расстояние между параллельными оросительными трубами должно быть от 1,5 до 2,5 м. При хорошо работающем септике оросительная сеть может

служить без очистки до 15 лет. На территории полей подземной фильтрации допускается выращивание огородных культур.

В *компактных установках продленной аэрации* заводского изготовления происходят механическая и биологическая очистка воды и обезвреживание осадка. Биологическая очистка обусловлена жизнедеятельностью активного ила, т. е. используется принцип аэротенка, как и на станциях большой мощности. С целью обезвреживания осадка применяют два приема. Первый - режим полного окисления, сущность которого заключается в равенстве скоростей двух противоположно направленных процессов: биосинтеза и самоокисления клеточного вещества биоценоза активного ила. Второй - аэробная стабилизация осадка, которая происходит в отдельной ступени аэротенка или в его части. В обоих случаях обезвреживание осадка достигается увеличением времени и интенсивности аэрации, что и нашло отражение в названии сооружения. Заводское изготовление установок продленной аэрации позволяет сократить сроки строительства с 3-5 лет до нескольких месяцев и повысить его качество.

Отечественная промышленность освоила выпуск серии компактных установок продленной аэрации для разных объемов сточных вод (от 12 до 700 $м^3$/сут). Эти установки получили общий индекс «КУ»; число, следующее за индексом, показывает мощность установки. В установках мощностью до 200 $м^3$/сут используют полное окисление, от 200 $м^3$/сут и выше - аэробную стабилизацию осадка. Несмотря на простоту устройства, эксплуатация установок требует квалифицированного персонала. Широкое распространение таких установок позволяет создать специализированные сервисно-наладочные организации при муниципальных предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства или на основе частного предпринимательства, обеспечивающие эффективную работу установок. Дальнейшее внедрение компактных установок в значительной мере обеспечивает санитарную охрану малых водных объектов от загрязнения отходами огромного числа мелких коммунальных объектов, расположенных в сельской местности и в пригородных зонах.

Местные очистные сооружения служат для очистки сточных вод в количестве до 25 $м^3$/сут. Они размещаются на территории объекта канализования и представлены фильтрующими колодцами, песчаногравийными фильтрами, фильтрующими траншеями и др. При сооружении *фильтрующих траншей* роют котлован достаточного размера в зависимости от объема сточных вод, на его дно укладывают дренажные трубы, которые засыпают гравием, щебнем, шлаком, крупноили среднезернистым песком. На поверхности загрузки укладывают оросительные трубы, засыпаемые землей. Длина отдельных траншей не превышает 20-30 м. Очищенную воду после траншей отводят в овраг или водный объект с соблюдением санитарных требований.

Фильтрующие колодцы, применяемые для биологической очистки сточных вод при их количестве до 1 $м^3$/сут, представляют собой вертикальные шахты из железобетонных колец глубиной до 2,5 м, загруженные гравием или щебнем. Для улучшения фильтрации в стенках колодца делают отверстия. При нормальном режиме фильтрации распространение бактериального загрязнения в грунте прослеживается на расстоянии 25-30 м от крайней оросительной линии. Это нужно учитывать при выборе места и взаиморасположения грунтового питьевого колодца и очистных сооружений канализации.

Малым и местным сооружениям для очистки бытовых сточных вод уделяется значительное внимание в системе государственного санитарно-эпидемиологического надзора за состоянием водных объектов.

Очистка промышленных сточных вод. Промышленные сточные воды весьма различны по характеру, количеству и концентрации загрязнений. В связи с этим не существует готовых рецептов для всех случаев их очистки; для каждого вновь проектируемого или реконструируемого производства нужно разрабатывать проект канализования и обработки сточных вод с использованием широкого круга методов (табл.11.5).

В табл. 11.5 не нашли отражения экстракционные, эвапорационные и термические методы обработки промышленных сточных вод. Экстракционные и эвапорационные методы по принципу относятся к физико-химическим и по эффективности примерно им соответствуют; наибольшее применение они получили как *регенерационные способы* извлечения из сточных вод ценных органических веществ с последующей их утилизацией.

Таблица 11.5. Техническая эффективность методов очистки промышленных сточных вод (в процентах)

Методы	По нерастворенным примесям	По БПК
Механические:		
отстаивание	60—90	30—40
Физико-химические:		
коагуляция, нейтрализация,	80—85	40—50
ионный обмен, сорбция	90	50—75
Биохимические	90	80—90

Термические методы направлены на полную ликвидацию сточных вод и имеющихся в них загрязнений. Однако термическая обработка дорога, кроме того, ее использование ограничивает состав сточных вод, поэтому ее применяют для обработки сточных вод опытных производств химической промышленности, где объем невелик, а изученность состава и степени опасности недостаточна для спуска в природный водный объект.

Заметную долю в общем балансе промышленных сточных вод составляет поверхностный сток ливневых вод с территории промплощадки. Загрязненность территории предприятия технологическими продуктами резко повышает загрязненность ливневых сточных вод, а их очистка представляет большие трудности, связанные с резко выраженной неравномерностью образования (выпадения осадков) и относительно низкой концентрацией загрязнений. В связи с этим охрана водных объектов от загрязнения поверхностным стоком с промплощадок должна быть направлена на повышение культуры производства, сокращение утечек, пролива технологических продуктов, регулярную уборку твердых отходов, уличного смета и пр.

11.4. Вспомогательные и планировочные мероприятия

Эти мероприятия направлены на обеспечение рационального размещения промышленных предприятий и канализационных сетей, оптимального смешения сточных вод с водой водного объекта.

Раздельное канализование различных видов сточных вод поселения, как и цехов или технологических участков предприятий, производится с целью максимальной эффективности очистки сточных вод. Например, направление в один общезаводской сток сточных вод, образующихся в разных цехах предприятия, приводит к тому, что отрицательные свойства наиболее загрязненной воды какого-либо технологического участка распространятся на всю массу сточных вод и сделают их очистку трудной или вовсе неосуществимой.

Регулирование сброса сточных вод направлено на смягчение техногенной нагрузки на водные объекты. Это достигается созданием *резервуаров-усреднителей,* в которых объединяются сточные воды с разной концентрацией однородных загрязнений. Усреднители, не уменьшая валового количества загрязнений, устраняют опасность нарушения санитарного режима водного объекта высококонцентрированными стоками. Этой же цели служат и *резервуары-накопители,* сброс сточных вод из которых производится пропорционально расходу воды водного объекта. Разновидностью резервуаров-усреднителей являются *резервуары-нейтрализаторы,* где объединяются сточные воды кислой и щелочной реакции. В результате нейтрализации смеси выпадает

осадок, который можно удалить отстаиванием или фильтрацией, а концентрация загрязнений сточной воды уменьшается.

Различные конструкции *рассеивающих выпусков* сточных вод предотвращают их струйное распространение на большие расстояния по течению реки и обеспечивают более полное использование ее разбавляющей способности.

Из *планировочных мероприятий* важнейшее значение имеет выбор площадки для размещения поселения и промышленных предприятий. На стадии отвода площадки для строительства решаются основные вопросы, позволяющие максимально надежно предотвратить вредное влияние сброса сточных вод:

- районное канализование, т.е. проектирование канализации в масштабе промышленного района, позволяющее сгруппировать промышленные объекты по признаку общности состава сточных вод, а также выделить бассейны водных объектов, в которые преимущественно направляются сточные воды, в то время как другие используются для питьевого и технического водоснабжения;
- возможность переброски сточных вод через водораздел в бассейн другого, менее важного с гигиенической точки зрения или более мощного водного объекта, способного принять загрязнения без ущерба для здоровья и условий жизни населения;
- выделение площадей для почвенного обезвреживания сточных вод.

11.5. Условия спуска сточных вод в поверхностные водные объекты

Иногда отведение сточных вод в водный объект необходимо. Сброс не должен нарушать условия жизни населения и создавать угрозу его здоровью. Расчет ведется только на разбавление сточных вод водой водного объекта - приемника стоков без учета ассимиляционной способности водного объекта (процессы самоочищения), закономерности которого изучены весьма поверхностно.

В основу расчетного метода определения условий спуска сточных вод в водный объект положены данные об исходном состоянии водного объекта, расстоянии от места спуска до первого пункта водопользования и гигиенические требования к качеству воды в этом пункте. Приводим математическое выражение этой зависимости:

$$q\,C_{ст} + yQC_{р} = (q + yQ) \cdot C_{пд},$$

где Q и q - соответственно расчетные расходы воды в реке и сточных вод; $C_{ст}$ и $C_{р}$ - концентрация загрязнения одинакового вида в сточных водах и в реке до места спуска сточных вод; $C_{вд}$ - ПДК того же загрязнения; y - коэффициент обеспеченности смешения[1], показывающий, какая часть расхода реки участвует в смешении со сточными водами. Решение уравнения относительно $C_{ст}$:

$$C_{ст} = yQ/q\,(C_{пд} - C_{р}) + C_{пд}$$

дает максимальную концентрацию, которая может быть допущена в сточных водах без нарушения гигиенических требований в водном объекте. Величину расчетной $C_{ст}$ кладут в основу мероприятий по снижению загрязнения, чтобы достигнуть соответствия условий отведения сточных вод гигиеническим требованиям.

Расчетный метод определения условий сброса на основе разбавления оценивали неоднозначно. Одни преувеличивали его значение, видя в разбавлении сточных вод главную возможность обеспечить санитарную охрану водных объектов, другие, наоборот, утверждали, что расчет на разбавление может привести лишь к нарастающему загрязнению водных объектов. Однако обе точки зрения не соответствуют реальности.

[1] Коэфициент обеспеченности смешения учитывает все гидрологические характеристики водного объекта, в том числе расстояние от места сброса сточных вод до контрольного (расчетного) створа водопользования.

Расчетный метод не допускает спуск сточных вод при $C_р$, равной или большей $C_{пд}$, т.е. если вода водного объекта чрезмерно загрязнена до спуска сточных вод. Тем самым правильные выводы из результатов расчета при принятии управленческих решений не допустят нарастания загрязнения водного объекта.

Организация и проведение расчетов спуска сточных вод усложняются, хотя приведенная формула сохраняет свое значение, в условиях крупных территориально-промышленных комплексов с большим количеством выпусков сточных вод на ограниченной территории или в условиях водохранилищ со сложными гидрологическими и гидродинамическими характеристиками. В настоящее время существуют компьютерные программы расчета спуска сточных вод в водный объект для различных санитарных ситуаций при множественных выпусках сточных вод. Все эти программы основаны на изложенном принципиальном подходе.

Изложенные мероприятия по охране водных объектов от загрязнения способны обеспечить качество природной воды, минимально удовлетворяющее большинство водопользователей. Однако даже добросовестное выполнение этих мероприятий далеко не полностью снимает техногенную нагрузку на водные объекты. Энергия природных внутриводоемных процессов во многом расходуется на элиминацию загрязнений, привнесенных человеком. Усилия общества должны быть направлены на дальнейшее разобщение природного и технологического круговорота веществ с целью большего приближения санитарного режима водных объектов к природному уровню и сохранению водных объектов.

ГЛАВА 12. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Санитарное состояние и достаточность водных ресурсов относят в настоящее время к важнейшим факторам, определяющим условия размещения нового предприятия или населенного места. Водным кодексом России предписана обязанность граждан и юридических лиц осуществлять при использовании водных объектов производственно-технологические, мелиоративные, агротехнические, гидротехнические, санитарные и другие мероприятия, обеспечивающие охрану водных объектов от загрязнения и истощения. Критерии безопасности и безвредности водных объектов для человека устанавливаются санитарными правилами. Федеральный Закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» предусматривает, что разрешение на использование водного объекта допускается при наличии санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии водного объекта санитарным правилам и условиям безопасного использования. Таким образом, санитарно-эпидемиологический надзор за состоянием водных объектов является важным звеном в системе государственных мероприятий по охране водных ресурсов.

Деятельность по санитарной охране водных объектов санитарно-эпидемиологическая служба проводит в соответствии с Федеральным Законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», координируя ее с деятельностью федеральных органов исполнительной власти по охране водных объектов.

Предупредительный санитарный надзор за состоянием водных объектов осуществляется на 4 этапах хозяйственной деятельности: при выборе участка под размещение предприятия или населенного места, проектировании, строительстве и приемке объекта в эксплуатацию. Опыт показывает, что эффективность санитарных мероприятий наиболее высока тогда, когда они учитываются уже на этапе выбора и отвода площадки под строительство и детально разрабатываются и решаются на первых этапах проектирования.

Санитарные недостатки проекта и строительства, выявленные на промежуточных этапах, когда еще идет финансирование и техническое осуществление запроектированных мероприятий, можно исправить. Нарушения санитарных правил и нормативов, выявленные при приемке объекта в эксплуатацию, устранить очень сложно, так как это связано с задержкой пуска объекта, несоблюдением плановых сроков строительства и выпуска продукции.

Санитарный врач принимает участие в работе комиссии по *выбору участка для строительства,* которая назначается органом местной власти. Санитарно-

эпидемиологическое заключение, составленное в процессе выбора участка для строительства, служит основой для согласования *отвода площадки для строительства.*

При согласовании отвода площадки под строительство нового промышленного или жилого объекта или населенного места необходимо наряду с другими документами руководствоваться *бассейновой схемой комплексного использования и охраны водных ресурсов,* содержащей перспективы использования водного объекта, в бассейне которого намечается новое строительство. При согласовании отвода участка под строительство нового жилого или промышленного объекта в черте поселения руководствуются *генеральным планом поселения,* утвержденным органом исполнительной власти, а также учитывают *санитарную ситуацию на водном объекте.*

Санитарную ситуацию на водном объекте изучают по санитарному описанию водного объекта с учетом всех видов использования для питьевых, хозяйственно-бытовых и рекреационных целей. Санитарное описание должно основываться на результатах динамического наблюдения за санитарным режимом водного объекта, содержать данные о динамике санитарных показателей воды водного объекта и о концентрации в ней специфических загрязняющих веществ. В санитарном описании должны быть четко определены участки водного объекта, надзор за которыми входит в компетенцию санитарно-эпидемиологической службы, а именно зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения, территории и акватории рекреационных зон и водного спорта, а также *расчетные пункты контроля качества воды* соответственно указанным зонам.

В отношении проектируемого предприятия должны быть данные о характере технологического процесса, мощности предприятия, о количестве, режиме образования и качественном составе сточных вод. Материалы для составления санитарного описания формируются из информационной базы системы социально-гигиенического мониторинга.

Акт государственной комиссии при отводе участка, который подписывает должностное лицо санитарно-эпидемиологической службы в составе комиссии, является основным документом для *санитарного надзора в процессе строительства,* в связи с чем формулировки условий и требований по санитарной охране водных объектов должны быть конкретными и обоснованными.

В соответствии с Федеральным Законом «Об охране окружающей среды» неотъемлемой частью проекта промышленного предприятия или какого-либо другого хозяйственного объекта является раздел «Оценка воздействия на окружающую среду» (ОВОС), содержащий данные о материальном технологическом балансе (количество сырья, полупродуктов, целевых продуктов и отходов производства, поступающих в сточные воды). Необходимо обратить внимание на соответствие удельного водопотребления установленным техническим нормам, а также на организацию максимального водооборота и повторного использования воды.

Развернутая качественная и количественная характеристика сточных вод позволяет дать оценку эффективности заложенных в проекте локальных и внеплощадочных очистных сооружений производственной канализации. В проекте должно быть приведено сравнение расчетной технической эффективности работы очистных сооружений с достигнутой на практике на аналогичных действующих предприятиях.

В проекте канализации промышленного предприятия часто выделяются так называемые *условно чистые сточные воды.* Как правило, эти воды содержат те или иные компоненты, присущие технологическому процессу, и условия их сброса в водный объект следует определять на общих основаниях. Необходимо обратить внимание и на то, чтобы ливневые сточные воды с промышленной площадки поступали на очистные сооружения, а не сбрасывались в водный объект.

Для обеспечения надежности охраны водного объекта от загрязнения в проекте должны быть предусмотрены так называемые вспомогательные мероприятия (усреднители, накопители, рассеивающие выпуски) (см. главу 11). В некоторых случаях целесообразно рекомендовать *сброс производственных сточных вод выше водозабора*

промышленного водопровода того же предприятия. В этом случае предприятие вынуждено более тщательно соблюдать меры по охране водных объектов, а также производственный контроль сброса сточных вод.

Согласованию с санитарно-эпидемиологической службой подлежит *проект предельно допустимых сбросов*(ПДС) химических веществ в водный объект, являющийся частью раздела ОВОС. Согласование проекта ПДС основано на соответствии гигиеническим нормативам расчетных (для проектируемого объекта) или лабораторно наблюденных (для действующего предприятия) концентраций приоритетных для данного предприятия веществ - компонентов сточных вод в створах расчетных (контрольных) пунктов питьевого, хозяйственно-бытового или рекреационного водопользования.

Проектом должна быть предусмотрена организация производственной санитарно-гигиенической лаборатории, в функции которой входят контроль эффективности работы сооружений по очистке сточных вод, соблюдения утвержденных ПДС, а также качества воды водного объекта в створе на 0,5 км ниже выпуска сточных вод (производственный контроль загрязнения водных объектов).

При *надзоре в ходе строительства* проверяют реализацию гигиенических мероприятий, заложенных в проекте, соответствие сроков осуществления мероприятий по санитарной охране водных объектов срокам строительства цехов и предприятий. Особое внимание обращают на те узлы или объекты, по которым имелись замечания при экспертизе проекта. Участие санитарного врача обязательно при приемке так называемых скрытых работ, исполнение которых невозможно проверить после окончания строительства.

Большое значение имеют плановость и своевременность поэтапного надзора за строительством и соблюдением мер, направленных на охрану водных объектов. Только в этом случае можно предупредить ухудшение санитарного состояния водных объектов в зоне строительства нового промышленного объекта.

Надзор при приемке в эксплуатацию осуществляется в процессе работы государственной приемочной комиссии. В составе комиссии обязательно должно быть должностное лицо санитарно-эпидемиологической службы.

При решении таких крупных водно-хозяйственных проблем, как межрегиональная переброска стока рек, организация водного хозяйства вновь строящихся и развивающихся территориально-промышленных комплексов, строительство водохранилищ, крупных водозаборных узлов, весьма важен долгосрочный прогноз состояния водных объектов. Составление такого прогноза - комплексная работа, в ней принимают участие все компетентные и заинтересованные ведомства, в том числе санитарно-эпидемиологическая служба.

В разработке прогноза выделяют 3 стадии. Первая - ретроспективный анализ состояния водных объектов, природных и социальных факторов, определяющих это состояние. Вторая стадия - анализ современного состояния всех видов водопотребления, водопользования и их влияния на водные объекты. Изучение и сопоставление материалов по первым двум стадиям с использованием методов математической статистики и математического моделирования служат основой для третьей стадии - собственно прогнозирования. Правильность и точность прогноза зависят от достоверности использованной информации. В этом отношении большую роль играют научно-практические исследования на водных объектах, где осуществлен полный комплекс организационных, технологических и санитарно-технических мероприятий по предотвращению их загрязнения и нарушения санитарного режима. Санитарно-эпидемиологическая служба участвует в разработке прогноза в рамках программы *социально-гигиенического мониторинга,* который является одним из основных разделов работы ЦГСЭН.

Текущий санитарный надзор за состоянием водных объектов должен быть сосредоточен у пунктов питьевого и культурно-бытового водопользования. СанПиН

«Гигиенические требования к охране поверхностных вод» относят участки водного объекта, используемые в качестве источников питьевого водоснабжения, к участкам 1-й категории, участки водных объектов культурно-бытового водопользования - к участкам 2-й категории. *Контрольные створы* намечают выше створа питьевого водозабора, верхней границы пляжа, лодочной станции и т. д. Пробы воды из поверхностного водного объекта берут на разной глубине в зависимости от характера водопользования из поверхностных (30-40 см от зеркала воды) и глубинных (на уровне водозабора) слоев. Придонные пробы отбирают тогда, когда можно предполагать активизацию вторичных источников загрязнения воды - накопление в придонном иле нефтепродуктов, взвешенных веществ (окалина, порода, осадки гидроксидов металлов) в результате сброса сточных вод. В зависимости от местных условий (ширина водотока, струйность течения и др.) пробы отбирают в одной или нескольких точках по контрольному створу. При установлении периодичности контроля учитывают наименее благоприятные периоды (межень, паводки, максимальные попуски в водохранилище и пр.). Объем анализов определен СанПиН «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». Объем и частота анализов воды питьевых водозаборов определены ГОСТом «Правила выбора и оценка качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения».

Выбор показателей для контроля химического состава воды проводится с учетом региональных особенностей водного объекта.

Основные критерии выбора приоритетных для данного водного объекта показателей:

- присутствие вещества в сточных водах, поступающих в водные объекты региона, и частота обнаружения вещества в воде;
- степень превышения ПДК вещества в воде водного объекта;
- класс опасности и лимитирующий показатель вредности (характеризуют одновременно кумулятивные свойства, токсичность и способность вещества давать отдаленные эффекты);
- канцерогенность;
- биоразлагаемость;
- кожно-резорбтивное действие.

Дополнительными критериями для выбора приоритетных показателей могут служить:

- биоаккумуляция;
- стабильность;
- способность к трансформации с образованием более токсичных соединений;
- способность к накоплению в донных отложениях. Ориентация на приоритетные для данного региона загрязнения позволяет оптимизировать контроль качества воды водных объектов, сократив число определяемых показателей и сосредоточив основное внимание на веществах, представляющих реальную опасность для здоровья населения.

Санитарно-микробиологический анализ воды при текущем санитарном надзоре производится в контрольных створах у пунктов 1-й и 2-й категорий водопользования. Показателем свежего фекального загрязнения является *E. coli*. От остальных представителей семейства эшерихий *E. coli* отличается способностью сбраживать лактозу при температуре не только 37 °С, но и 44,5 °С и образовывать индол при этой же температуре. Из-за трудности культивирования *E. coli* в практических лабораториях определяют так называемые термотолерантные кишечные палочки, среди которых, кроме преобладающего количества истинных *E. coli*, вырастают некоторые сходные с ней по биохимическим признакам штаммы. Кроме термотолерантных, санитарными правилами предписано определение общих колиформных бактерий. Для контроля вирусного загрязнения воды определяют колифаги.

Результаты анализа воды водного объекта оценивают в соответствии с СанПиНом «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». При оценке результатов

санитарно-микробиологических анализов целесообразно учитывать следующие положения. При завершенных процессах самоочищения отношение общих колиформ к *E. coli,* как правило, более 10: 1. Уменьшение этого соотношения свидетельствует о потенциальной эпидемической опасности водного объекта. Обычно на каждую бактериальную клетку патогенного вида, попавшую в воду с фекалиями, приходится 1 млн бактерий группы кишечной палочки.

Кроме результатов лабораторных анализов, при оценке санитарного состояния водного объекта необходимо учитывать и данные визуального наблюдения, а также жалобы населения на временные изменения внешнего вида водного объекта, что может быть связано с залповыми сбросами сточных вод.

При текущем санитарном надзоре большое внимание уделяют аварийным выпускам из городских и производственных канализационных сетей. Расположение аварийных выпусков согласовывается с санитарно-эпидемиологической службой на стадии рассмотрения проекта канализации. О каждом сбросе через аварийный выпуск неочищенных сточных вод организация, эксплуатирующая канализационную систему, должна срочно поставить в известность ЦГСЭН для своевременного принятия мер.

Кроме санитарно-эпидемиологической службы, систематический контроль состояния водных объектов проводят органы государственного контроля использования и охраны водных объектов. Створы наблюдений при этом устанавливают с учетом гидрологических и гидробиологических условий, программу наблюдений согласовывают с санитарно-эпидемиологической службой.

Постоянное наблюдение за эксплуатацией очистных сооружений канализации (промышленной, хозяйственно-бытовой, ливневой) в порядке производственного контроля в соответствии с «Законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» является обязанностью владельца этих сооружений. Государственный контроль работы очистных сооружений и соблюдения регламента сброса сточных вод осуществляется органами государственного контроля использования и охраны водных объектов. Однако для выяснения причин санитарного неблагополучия в контрольных створах пунктов питьевого и культурно-бытового водопользования ЦГСЭН имеют право и должны проводить обследование условий формирования сточных вод на предприятии и эффективности работы очистных сооружений.

Элементами текущего санитарного надзора, входящего в компетенцию ЦГСЭН, являются методическое руководство производственными санитарно-гигиеническими лабораториями предприятий и контроль их работы.

РАЗДЕЛ 3. ГИГИЕНА ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ
ГЛАВА 13. ПОЧВА НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ И ИСТОЧНИКИ ЕЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

13.1. Определение понятий «почва» и «почва населенных мест»

Почва - один из основных элементов природной среды, она играет большую и многогранную роль как элемент среды обитания человека. В коммунальной гигиене рассматривается не почва вообще, а почва в населенных местах. Однако было бы неправильно сводить гигиену почвы к состоянию так называемого культурного слоя, т.е. почвы непосредственно на селитебной территории. Большое гигиеническое значение имеет почва сельскохозяйственных угодий, рекреационных территорий. Почва, занятая под отвалы пустых горных пород и таким образом исключенная из хозяйственного оборота, тем не менее может неблагоприятно влиять на здоровье и условия жизни человека в результате миграции из нее в воду или в атмосферный воздух каких-либо компонентов пустой породы.

Баланс площади суши на планете складывается приблизительно следующим образом:

Территория поселений – 1%.	Пустыни, тундра, горы,
Дороги (с полосами отчуждения) – 2%.	болота, тайга, тропичес-
Сельхозугодья – 15%.	кие леса и пр. – 60% .
Естественные луга –20%.	
Рекреационные территории – 2%.	
Итого – 40%.	

Таким образом, интересы гигиены почвы сосредоточены в основном на 40% территории суши; на остальной территории приоритетными являются интересы экологов, почвоведов, агрономов, специалистов лесного хозяйства и пр.

Известный отечественный почвовед В.В. Докучаев (1845-1903) дал следующее определение почвы: *«Почва - верхний слой земной коры, видоизмененный почвообразующими факторами».* Это лаконичное определение в полной мере отражает и компетенцию гигиенистов в области охраны почвы.

13.2. Факторы почвообразования

К почвообразующим факторам В.В. Докучаев относил материнскую горную породу; возраст страны (продолжительность процесса почвообразования); рельеф местности; климат (вода, воздух, тепло); почвенный биоценоз; антропогенное воздействие.

Взаимодействие этих факторов в различных сочетаниях создало то разнообразие почв, от которого в значительной мере зависят условия жизни населения и которое продолжает изменять почвы в настоящее время. В почве наиболее конкретно проявляются единство и взаимодействие живой и мертвой (косной) природы.

Материнская порода подвергается воздействию всех остальных факторов. «Материнская порода - не только инертная основа, на которой укореняется жизнь. Она - источник микроэлементов для этой жизни и тем самым она определяет характер почвенного биоценоза и влияние почвы на организм человека» (В.И. Вернадский).

Преобразование материнской породы в плодородную почву проходит много стадий, каждая из них длится столетиями и тысячелетиями. Они складываются в *возраст страны.* Этот фактор действует равномерно и очень медленно. Из непроницаемой для воды и воздуха слитной массы материнской породы под влиянием процессов выветривания образуется рухляк, он обогащается органическим субстратом и дает начало почве. Процессы почвообразования на территориях с образовавшейся почвой идут со скоростью от 0,5 до 2 см за 100 лет, поэтому почвенный слой весьма тонок. В разных местностях его толщина колеблется от 3 до 25 см; лишь на небольших территориях (Ростовская область, Краснодарский край, юго-восток Украины) мощность слоя почвы достигает 1-1,5 м.

Возраст страны отражает не только преобразование материнской породы, но и внесение в нее новых (для данной местности) веществ с паводками, вулканической пылью, промышленными выбросами в атмосферный воздух, а также образование различных органических веществ в результате метаболизма биоценоза, который в свою очередь тоже изменяется. Возраст зрелых почв исчисляется сотнями и тысячами лет, поэтому они входят в невозобновимый фонд одного из важнейших природных ресурсов.

Рельеф местности и *климат* влияют на процесс почвообразования прежде всего путем перераспределения тепла и влаги. Воздействие этих факторов также очень медленное.

Биоценоз почвы - самый непостоянный и наиболее подверженный изменению фактор. Бактерии, плесневые грибы, актиномицеты, вирусы, простейшие одноклеточные растения и животные, наконец, некоторые макроорганизмы, населяющие почву, являются активными участниками грандиозного процесса видоизменения земной коры, образования почвы. В результате жизнедеятельности почвенного биоценоза органическое вещество мертвых крупных организмов и растительных остатков, попавших в почву, либо разрушается до минеральных солей, воды, углекислоты, либо образуется гумус - сложный органический комплекс, определяющий основное свойство почвы - *плодородие.*

Академик Н.А. Красильников (1896-1973) говорил: «Если подсчитать всю микробную массу в поверхностном слое почвы на одном гектаре, то получим количества, измеряемые сотнями килограммов и тоннами. На гектар плодородной почвы приходится около 5-7 тонн микробной, главным образом бактериальной массы». Далее ученый продолжает: «Эта масса не является лишь аккумулятором органических веществ, азота или других элементов питания. Это - биологически активная масса, которая непрерывно размножается и непрерывно отмирает». В почве обитает постоянно или временно много видов патогенных микроорганизмов. Среди них большое эпидемиологическое значение имеет род клостридий, спорообразующих анаэробных палочек, возбудителей столбняка, ботулизма, газовой гангрены, для которых почва является природным биотопом. Клостридии не только остаются жизнеспособными в почве в виде спор в течение десятилетий, но и размножаются в ней в вегетативный период своего существования. То же относится и к возбудителю сибирской язвы. Другие патогенные микроорганизмы, не образующие спор (сальмонеллы, шигеллы, иерсинии, бруцеллы, лептоспиры, возбудители сапа и др.), попадают в почву с выделениями человека и животных и способны сохраняться в ней не столь продолжительное, но эпидемиологически значимое время. Большое влияние на сроки выживания этой группы микроорганизмов оказывают антагонистические свойства постоянных представителей микрофлоры почвы, в частности грибов-актиномицетов.

В переработке растительных остатков, попавших в почву, большую роль играют макроорганизмы. Дождевые черви на 1 га почвы способны переработать 1 т растительных

остатков в течение года. Одна особь дождевого червя за сутки выделяет в качестве продуктов метаболизма гумусоподобную массу, в 4 раза превышающую массу червя, с прекрасными удобрительными свойствами.

Состав биоценоза почвы и взаимоотношения его частей резко меняются в связи с изменениями почвы. Колебания погоды, смена времен года меняют биоценоз почвы, в котором идет непрерывная борьба за существование. Погибают или резко сокращают жизнедеятельность одни виды, расцветают другие. Большую роль в динамике биоценоза играют явления паразитизма, симбиоза. Процессы трансформации почвенного биоценоза саморегулируемы, а постороннее вмешательство в них может нарушить равновесие.

Биоценоз изменяется и под влиянием техногенного загрязнения почвы. Некоторые виды биоценоза приобретают способность к утилизации углерода из таких абиогенных субстанций, как фенолы, нефтепродукты, тем самым весьма усиливая процессы самоочищения почвы. Такая способность к трансформации метаболизма свойственна в основном микроорганизмам, но и один дождевой червь способен за сутки поглотить 4 г минерального масла, попавшего в почву в результате хозяйственной деятельности человека.

Последний фактор почвообразования - *антропогенный,* воздействие человека на верхний слой земной коры. Это результат не природных, естественных процессов, а осознанного, волевого вмешательства в явления природы, к сожалению, часто без учета законов природы.

Воздействие антропогенного фактора на почву может проявиться двояко. Если будут учтены все возможные последствия такого вмешательства, оно принесет обществу несомненную пользу. Если вмешательство производится необдуманно, с изменением жизненных стереотипов биосферы, оно наносит человеку либо прямой, либо косвенный вред. Этот вред может стать экономическим убытком, снижением плодородия почвы и в этом смысле входит в компетенцию почвоведов, экологов, агрономов и других представителей сельскохозяйственной науки. Однако зачастую неразумное вмешательство человека вызывает и нежелательные санитарные последствия, о которых необходимо знать санитарному врачу.

Во второй половине XX века бурная научно-техническая революция превратила человечество в «реальную геологическую силу» (В.И. Вернадский). Масштабы и темпы воздействия человека на процессы почвообразования резко возросли и стали сравнимы по масштабам с воздействиями при естественных планетарных событиях. Огромное влияние на процессы почвообразования оказывает изменение человеком гидрологических условий - мелиорация почвы, осушение болот, создание систем искусственного орошения. Это вмешательство нарушает естественные медленные процессы почвообразования. Колоссальное гидроэнергетическое строительство в XX веке привело к образованию громадных водохранилищ. В России было сооружено 35 000 водохранилищ, в результате площадь затопленных земель составила 5-6 млн га, что больше территории Швейцарии или Бельгии. Вокруг водохранилищ образуется *зона подтопления* гораздо больших размеров, чем зеркало водохранилища, на которой происходят заболачивание, просадки грунта, коренным образом преобразуются почвенный биоценоз и ландшафты.

Большое влияние на процессы почвообразования оказывает развитие промышленности, особенно горнодобывающей и химической, а также тепловой энергетики. Добывая и используя одни элементы, человек создает огромные массы отвалов пустой породы (а зачастую и ценных минералов), шламов, золы, шлака. Эти отходы не только обогащают почву окружающей территории не свойственными ей веществами, но и кардинально изменяют ее структуру. Современные открытые угольные разрезы достигают глубины 500-700 м, отвалы вокруг них распространяются в радиусе более 10 км; еще большая территория изменяется в результате падения уровня грунтовых вод, связанного с разработкой разреза. В значительной мере изменяется и рельеф

местности. Особенно важно это обстоятельство для России, где горнодобывающий комплекс составляет около 30% мирового.

Интенсификация сельскохозяйственного производства осуществлялась путем механизации сельскохозяйственных работ и химизации, т.е. интенсивного применения минеральных удобрений, пестицидов и агрохимикатов. Широкое распространение получили и экстенсивные методы, например, распашка громадных массивов степных почв в регионах с частыми и сильными ветрами. Все эти мероприятия, зачастую без научно обоснованных ограничений способствовали развитию ветровой и водной эрозии, обеднению почвы плодородным субстратом - гумусом, обогащению почвы чужеродными веществами, угнетению почвенного биоценоза. Таким образом, антропогенный фактор негативно влияет на все остальные факторы почвообразования. Все естественные факторы почвообразования действуют медленно либо циклически, и только антропогенное воздействие происходит быстро, иногда в течение часов (химизация), порой со срывом биологических или метеорологических циклов, что приводит к дезорганизации гармоничного саморегулирующегося процесса почвообразования.

Все это экологические, агротехнические проблемы. Однако последствия нерационального землепользования, недропользования во многом влияют на санитарно-эпидемиологическое благополучие населения, и без знания этих проблем невозможно построить систему профилактических мероприятий по санитарной охране почвы населенных мест.

13.3. Экологические функции почвы

Основная функция почвы как элемента природной среды - это *плодородие,* способность через растения кумулировать солнечную энергию, трансформировать ее в химическую, синтезировать органические вещества. Почвоведы установили, что плодородие девственной почвы, естественных биоценозов постоянно повышается. Затраты энергии для поддержания плодородия агрокультурных биоценозов на порядок выше, чем на естественных территориях, даже при рациональном и научно обоснованном ведении хозяйства.

Вторая не менее важная экологическая функция - *захоронение и утилизация отходов жизнедеятельности человека и животных, а также остатков погибших организмов - растений и животных.* Эта функция, часто называемая «процессом самоочищения», осуществляется как многостадийный и саморегулирующийся процесс с участием всех представителей почвенного биоценоза при ведущей роли микрофлоры почвы. Процесс самоочищения протекает в двух направлениях: *минерализации,* т.е. разложения органического субстрата в *аэробных условиях* до углекислоты, воды, нитратов и фосфатов, и *гумификации* - сложного биохимического *анаэробного процесса* трансформации мертвого органического субстрата в сложный органический комплекс, имеющий большое агротехническое и гигиеническое значение. С агротехнической точки зрения гумус в основном определяет плодородие почвы. Гумус не загнивает, не выделяет зловонных газов, не привлекает мух; в процессе гумификации погибают патогенные микроорганизмы, в этом гигиеническое значение гумификации.

В почвах естественных экосистем процессы минерализации и гумификации находятся в равновесии, а их продукты служат основой для воспроизводства растений. Вмешательство человека зачастую не только нарушает равновесие, но и приводит к замещению этих процессов гниением, что вызывает санитарное неблагополучие.

Третья экологическая функция почвы - *участие в процессах природного круговорота веществ,* во многом обеспечивающих существование жизни на планете. За 1 сут 1 га леса способен поглотить и связать 220-280 кг диоксида углерода и выделить 120-160 кг кислорода. Роль почвы в этом сложном многофакторном процессе является ведущей.

Нормальное осуществление всех экологических функций почвы способствует санитарно-эпидемиологическому благополучию, но осложняется концентрацией

промышленного и сельскохозяйственного производства, концентрацией населения и процессами урбанизации. Немаловажную роль играет и субъективный момент - потребительский подход к природным ресурсам, присущий в настоящее время обществу с любым политическим строем и игнорирующий известные науке экологические законы. Оценка влияния этих процессов на состояние и плодородие почвы, а также установление нормативов безопасных для развития почвы уровней такого воздействия - задачи экологии, почвоведения и агрономической науки.

Гигиена почвы как один из профилактических разделов медицинской науки изучает пути и проявления воздействия почвы, как природной, так и антропогенно измененной, на здоровье и бытовые условия жизни человека, устанавливает допустимые уровни воздействия и мероприятия, предупреждающие неблагоприятные для здоровья человека последствия такого воздействия.

13.4. Гигиенический критерий загрязнения почвы населенных мест

Определить, что такое загрязнение почвы, очень трудно. В самом деле, почва содержит все элементы Периодической системы в самых разных сочетаниях и соединениях. Одна из природных функций почвы, активно эксплуатируемая человеком, - захоронение останков живого. Исторически это считается «грязным субстратом», но для почвы это нормальный, естественный компонент. В процессе сельскохозяйственного производства человек целенаправленно вносит в почву посторонние для нее химические вещества (удобрения, пестициды и пр.), но это внесение нельзя назвать загрязнением, поскольку оно направлено на повышение главного природного свойства почвы - плодородия.

Согласно определению ВОЗ, под загрязнением почвы следует понимать химические вещества, биологические организмы (бактерии, вирусы, простейшие, гельминты) и продукты их жизнедеятельности, встречающиеся в почве *в ненадлежащем месте, в ненадлежащее время и в ненадлежащем количестве.*

Каждый землепользователь должен конкретизировать это общее определение, исходя из собственных задач и направлений землепользования.

С гигиенических позиций под загрязнением почвы следует подразумевать лишь тот уровень содержания химических и биологических компонентов в ней, который становится опасным для здоровья при прямом контакте человека с почвой конкретного участка или через контактирующие с почвой среды по экологическим цепям: почва-вода- человек; почва-атмосферный воздух-человек, почва-растение-человек; почва-растение-животное-человек.

Таким образом, оценка чистоты почвы участка детского сада и территории санитарно-защитной зоны промышленного предприятия или полигона захоронения твердых бытовых отходов должна производиться по одним и тем же критериям, но абсолютные значения критериев, их гигиеническая трактовка и окончательный вывод будут различны.

13.5. Источники загрязнения почвы

Все загрязнения почвы можно разделить на химические (неорганические и органические) и биологические (вирусы, бактерии, простейшие, яйца гельминтов, ооцисты простейших).

Химические загрязнения делятся на две большие группы. К первой группе относятся вещества, вносимые в почву планомерно, целенаправленно, организованно. Это так называемые агрохимикаты - вещества самых различных химических классов с биологической активностью разной направленности. Необходимость их внесения диктуется агротехническими и экономическими причинами; их применение позволяет

улучшить агротехнические свойства почвы, повысить ее плодородие и защитить культурные растения от вредителей. Только в случае внесения избытка по отношению к рекомендованным агротехническими регламентами, согласованными с санитарно-эпидемиологической службой, эти препараты приводят к загрязнению почвы.

Ко второй группе относятся химические вещества, попадающие в почву в процессе промышленного производства или бытовой деятельности человека. В эту группу входят вещества, поступающие в почву в процессе седиментации атмосферных выбросов промышленных предприятий, отработанных газов автотранспорта, при транспортировке хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, при захоронении бытовых и промышленных твердых отходов. Опасность веществ, поступающих в почву с отходами, определяется их токсичностью, способностью давать аллергенные, мутагенные и другие эффекты, опасные для здоровья человека как в настоящее время, так и в последующих поколениях, а также их стабильностью в почве.

Химическими веществами загрязняют почву многие отрасли хозяйства. Крупным загрязнителем почвы является горнодобывающая промышленность. После извлечения горной массы (руда, каменный уголь, сланцы и пр.) из шахты или горного разреза ее разделяют на две части, из которых одна подвергается переработке, а вторая, часто большая по объему, считается отходом *(пустой породой)* и складируется в окрестностях рудника или разреза в виде породоотвалов, терриконов. Первичная переработка руды, как правило, производится вблизи от места добычи. Смысл первичной переработки руды, так называемого *обогащения* (обычно методом флотации), - разделение составляющих ее минералов и выделение «целевых» минералов, которые составляют не более 50%, а часто всего лишь 5-10% руды. Остальная часть руды -*«хвосты флотации»* направляется в хвостохранилища. Под породоотвалами, терриконами, хвостохранилищами оказываются погребенными громадные площади почвы, в том числе плодородной (район Курской магнитной аномалии, Кемеровская область и др.), на неопределенно долгое время. Разнообразные химические соединения, содержащиеся в этих хранилищах, мигрируют в окружающую почву, грунтовые воды, разносятся ветром, загрязняя атмосферный воздух.

Техногенное воздействие горнодобывающей промышленности на природу во много раз превышает масштабы аналогичных природных процессов. Горнодобывающая промышленность США, строительство дорог и других сооружений ежегодно приводят к перемещению 7,6 млрд т грунта, а все природные явления, главным образом реки, перемещают не более 1 млрд т горных пород.

Вторым по объемам (по значению) загрязнителем почвы является энергетическая отрасль. На современных тепловых электростанциях и теплоэлектроцентралях, работающих на каменном угле, негорючая минеральная часть топлива (зола), составляющая от 65 до 35% массы топлива, отводится с помощью системы гидрозолоудаления в золоотвалы - обвалованные и разбитые на карты участки земли, где и остается на постоянное хранение. Золоотвалы крупной ТЭЦ занимают 400-800 га ценных земель. Дренажные воды золоотвалов, содержащие широкий спектр химических элементов, загрязняют горизонт грунтовых вод и в конечном счете поступают в близлежащий поверхностный водный объект. Велика роль в загрязнении почвы и выбросов угольных теплоэлектростанций в атмосферный воздух (сажа и зола уноса), которые загрязняют почву различными чужеродными веществами, в том числе и бензапиреном, сорбированным на частицах сажи и золы, а также радионуклидами, содержащимися в каменном угле. Тепловая электростанция мощностью 1200 МВт, работающая на буром угле, даже при бесперебойной работе очистных установок с технической эффективностью 99% выбрасывает в атмосферный воздух ежесуточно около 50 т золы, которая оседает на почву в окрестностях станции радиусом несколько километров.

С промышленными выбросами в атмосферу, особенно поблизости от источника выброса, в результате их осаждения в почву поступают вещества самой разнообразной

химической природы. Так, в окрестностях завода ферросплавов содержание марганца в пахотном слое почвы (1-20 см) на расстоянии 500 м от источника выброса превышало фоновое содержание в 30 раз, на расстоянии 3000 м - в 4 раза. При этом концентрация марганца в клубнях и корнеплодах превышала контрольный уровень в 7-11 раз, а в наземных съедобных частях культурных растений - в 15 раз. Подобные эффекты описаны и для других цветных и редких металлов.

Вокруг предприятий цветной металлургии, а также вблизи от автомагистралей концентрации свинца в пахотном слое почвы достигают 100-1000 мг/кг (ПДК свинца 20 мг/кг). Растения, выросшие на таких почвах, содержат свинца до 1 мг/кг и более, а выросшие на почвах, не загрязненных промышленными выбросами, содержат свинец в концентрациях порядка десятых долей миллиграмма на 1 кг. В свою очередь пыль, поднимаемая ветром с почвы промышленно загрязненных территорий, служит вторичным источником загрязнения атмосферного воздуха.

Большое влияние на состав и функции почвы оказывают так называемые кислые дожди. В атмосферной влаге растворяются оксиды азота и серы, поступающие в атмосферу в составе выбросов крупных металлургических комбинатов и теплоэнергоцентралей. pH дождевой воды при этом понижается до 4,0 и менее. Подкисление снижает плодородие почвы. Кроме того, при подкислении происходит трансформация соединений металлов, содержащихся в почве, в направлении увеличения подвижных форм, которые начинают усиленно мигрировать в растения и подземные воды, повышая токсическую опасность для здоровья человека. «Кислые дожди» выпадают не только в окрестностях предприятий, выбрасывающих оксиды азота и серы (локальный перенос - десятки километров), но и на громадных расстояниях от места образования кислой атмосферной влаги (межконтинентальный перенос).

Важную роль в загрязнении почвы играет современное сельскохозяйственное производство. Современная агротехника использует большой ассортимент химических препаратов как природного происхождения, так и синтетических. Такие вещества в целях гигиенической регламентации называют экзогенными, поскольку они не присущи данной почве, а вносятся в нее преднамеренно для повышения урожая.

В связи с высоким экономическим эффектом борьбы с вредителями растений и повышения урожайности целенаправленное внесение экзогенных для почвы химических веществ во всем мире возрастает, с каждым годом в почву поступает все больше пестицидов, минеральных удобрений, структурообразователей и пр.

Пестициды - группа химических и биологических соединений и препаратов, используемых для борьбы с вредителями и болезнями растений и животных, сорными растениями, вредителями сельскохозяйственной продукции, для регулирования роста растений, предуборочного удаления листьев и подсушивания растений.

Агрохимикаты - удобрения, химические мелиоранты, кормовые добавки, предназначенные для питания растений, регулирования плодородия почв и подкормки животных.

Столь широкий круг функционального назначения пестицидов и агрохимикатов, охватывающий все этапы агротехнического цикла, большое разнообразие применяемых веществ и препаратов, различающихся по химической природе, персистентности в природной среде и биологической активности, реальная возможность контакта с ними человека как в производственных, так и в бытовых условиях ставят перед санитарно-эпидемиологической службой проблему защиты населения от возможного неблагоприятного влияния химизации сельского хозяйства на здоровье.

Потенциальные потери урожая от болезней растений и вредителей сельского хозяйства составляют, по данным продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО ООН), 34,9% мирового урожая. Защитные мероприятия обеспечивают дополнительно сбор с 1 га сельскохозяйственных угодий 2-3 ц зерна, 5 ц риса, 15-20 ц картофеля. В настоящее время применяют несколько десятков тысяч

различных пестицидов; их ассортимент постоянно изменяется в связи с синтезом новых, более эффективных и менее опасных препаратов.

При соблюдении научно обоснованной, безопасной для здоровья людей технологии применение пестицидов способствует как охране сельскохозяйственных растений от вредителей, так и получению высококачественных пищевых продуктов. Фактическое содержание пестицидов в почве зачастую значительно превосходит допустимое и достигает на сельскохозяйственных угодьях некоторых территорий катастрофических величин (табл. 13.1). Такое загрязнение почвы пестицидами опасно при прямом контакте человека с загрязненной почвой, а также при миграции в контактирующие среды (вода, воздух, растения) на уровне концентраций, небезопасных для человека. Кроме того, возможна смена популяций отдельных видов почвенных микроорганизмов и микробиоценозов под воздействием пестицидов. В связи с этим бесконтрольное применение этих препаратов может вызвать необратимые неблагоприятные изменения в среде обитания человека.

Таблица 13.1. Содержание (в мг/кг) хлорорганических пестицидов в почве

Характеристика участка	ДДТ (ПДК 1,0)	ДДТ совместно с ДДЭ	Алдрин + дилдрин (ПДК 0,01)	Гептахлорэпоксид (ПДК 0,01)
Яблоневые сады (Великобритания)	5,25			
Фруктовые сады (США)	2,1-118,9		2,1	
Пахотные земли (Канада)		1,0	0,75	0,06-0,86
Пахотные земли (США)	4,7-30,0	0,5-7,2		

При загрязнении почвы пестицидами вследствие нарушения агротехнических регламентов употребление пищевых продуктов, выращенных на ней, грунтовой воды из местных источников, вдыхание загрязненного пестицидами воздуха могут привести к хроническим отравлениям.

Существует и проблема обезвреживания пестицидов с истекшим сроком годности, запрещенных к применению, но хранящихся на складах. Такие неликвиды в некоторых регионах составляют сотни тонн. Рациональных способов их ликвидации в промышленном масштабе не предложено, а установленное правилами захоронение в металлических контейнерах на территории полигонов опасных отходов нереально из-за отсутствия полигонов во многих регионах и дороговизны транспортировки. Несанкционированные свалки неликвидов образуют локальные очаги загрязнения грунтовых вод и поверхностных водных объектов.

Минеральные удобрения - промышленные и ископаемые продукты, содержащие элементы питания растений и используемые в целях повышения плодородия почвы. В состав минеральных макроудобрений входят основные элементы, повышающие плодородие (азот, фосфор, калий). Соответственно макроудобрения делятся на азотные, фосфорные, калийные, смешанные. Микроудобрения содержат микроэлементы бор, кобальт, марганец, медь, молибден и др.

Ассортимент минеральных удобрений разнообразен. Например, группа азотных удобрений включает аммиачную воду, карбамид, нитрат натрия, аммиачную селитру, калиевую селитру и др. В группу фосфорных удобрений входят простой и двойной суперфосфаты, преципитат, основные шлаки и др.

Калий мигрирует в почве чрезвычайно медленно и не оказывает вредного воздействия на почвенный биоценоз и способность почвы к самоочищению. Однако вместе с ним вносятся ионы хлора. На 45- 50 кг/га калийных удобрений (расчет на K_2O) приходится 30-35 кг/га ионов хлора, вызывающего засоление почвы.

Несколько меньшую роль в загрязнении почвы играют фосфаты. Нормы внесения фосфорных удобрений колеблются от 120 до 400 кг/га. По последним данным, нагрузка фосфорными удобрениями не должна превышать 600 кг/га, или 200 мг/кг почвы. Превышение этих концентраций резко ухудшает органолептические свойства и снижает пищевую ценность растительных продуктов. Кроме того, минералы, из которых получают фосфорные удобрения (апатиты, фосфориты), обязательно содержат фтор, поэтому внесение в почву фосфорных удобрений приводит к ее загрязнению фтором. В некоторых регионах с фосфорными удобрениями в почву поступает до 20 кг/га, или около 7 мг/кг, фтора, 0,1-0,4% этого количества переходит в растения. Уровень фтора в грунтовых водах может повышаться до 20 мг/л.

Минеральные микроудобрения вносят в почву в относительно небольших количествах (в 10-100 раз меньших, чем макроудобрения). Однако в состав полимикроудобрений (ПМУ-7, ПМУ-8 и др.), которые широко применяются в сельском хозяйстве, входит, кроме целевых микроэлементов, довольно много свинца - от 0,3 до 1%. Полимикроудобрения вносят в почву в количестве 20-50 кг/га. При их нерациональном использовании вполне реальна опасность загрязнения почвы свинцом.

Около половины внесенных в почву минеральных удобрений мигрирует в грунтовые и поверхностные воды, особенно при применении в высоких дозах. Сокращение миграции возможно при одновременном внесении органических удобрений (навоза), количество которого ограничено по указанным выше причинам.

Таким образом, нерациональное применение минеральных макро- и микроудобрений может привести к опасным последствиям как для здоровья человека, так и для окружающей природной среды.

Структурообразователи почвы - химические вещества, вносимые человеком на сельскохозяйственные угодья для улучшения структуры почвы. В основном они представлены ПАВ. Как правило, эти вещества представляют собой нестабильные соединения и разрушаются под действием почвенных микроорганизмов.

Регуляторы роста растений - природные и синтетические органические соединения, которые в малых дозах активно влияют на обмен веществ в растениях. К синтетическим регуляторам роста растений относятся производные этилена, никотиновые соединения, карбаматы, фосфониевые соединения и пр. Остаточные количества препаратов в почве и растениях зависят от норм расхода. Синтетические регуляторы роста стабильны в почве и токсичны для человека. Сроки сохранения препаратов в почве, например хлорхолинхлорида, увеличиваются в случае применения в сочетании с азотными удобрениями.

Источником загрязнения почвы является и современное животноводство, т.е. крупные животноводческие и птицеводческие комплексы. О масштабах таких хозяйств шла речь в разделе 2 учебника. Такое количество навоза, несомненно, обладающего большой удобрительной ценностью, на небольшой территории комплекса не может быть использовано из-за нерентабельности его транспортировки. Таким образом, навоз не обогащает, а загрязняет почву.

Городское хозяйство загрязняет почву разнообразными отходами производства и потребления.

Отходами производства и потребления называются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары, утратившие свои потребительские свойства.

С гигиенических позиций наиболее актуальными источниками загрязнения почвы являются твердые бытовые и твердые промышленные отходы.

Твердые бытовые отходы - это остатки веществ и предметов, образующиеся в процессе хозяйственно-бытовой деятельности человека и не используемые на месте.

С давних времен твердые бытовые отходы закапывали в землю. К обезвреживанию, минерализации веществ, поступающих в почву из бытовых отходов, почва

приспособилась за миллионы лет эволюции. Однако в современных условиях большую долю бытовых отходов составляют стекло и пластик, используемые в качестве тары. Эти материалы не подвергаются распаду в почве. Кроме того, из твердых бытовых отходов в почву поступают биологические загрязнения (патогенные и условно-патогенные бактерии, вирусы, простейшие, яйца геогельминтов). Накопление и хранение твердых бытовых отходов на территории поселений нарушают санитарное состояние среды. Организованное и санкционированное складирование на усовершенствованных свалках приводит к высокой концентрации загрязнений. Эти инженерные сооружения, предназначенные для обезвреживания отходов, сами могут стать источниками загрязнения атмосферного воздуха и почвы окружающей территории, а опосредованно и грунтовых вод и воды поверхностных водных объектов

Твердые промышленные отходы - остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, которые образовались в процессе производства, а также товары, утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства.

По данным ВОЗ, 50% сырьевых продуктов промышленности и более в конечном счете становятся отходами. В процессе выщелачивания твердых промышленных отходов под влиянием погодных условий или при межкомпонентных взаимодействиях в местах их хранения или захоронения в почву могут образовываться разнообразные токсичные вещества, способные к миграции по пищевым цепочкам и, следовательно, представляющие определенную опасность для человека. Существенную часть твердых промышленных отходов, образующихся в поселении, составляют осадки очистных сооружений городской и промышленных канализаций.

Особую опасность для здоровья человека представляют так называемые *опасные отходы - твердые, пастообразные и жидкие промышленные отходы, содержащие токсичные, мутагенные и канцерогенные вещества.* Это шламы коксохимических заводов, гальванических производств, кубовые остатки различных химических производств и т.п. По степени токсичности компонентов опасные отходы делятся на классы: 1-й - чрезвычайно опасные, 2-й - высокоопасные, 3-й - умеренно опасные, 4-й - малоопасные. Класс опасности учитывается при определении условий сбора, транспортировки, способов обезвреживания и захоронения отходов.

В процессе работы наземного транспорта в почву поступают продукты неполного сгорания моторного топлива, коррозии металлов, истирания резиновых шин, тормозных колодок и пр. Это такие токсичные вещества, как свинец, хром, бензапирен и др. Повышенное количество этих веществ в почве отражается на химическом составе растений, что небезразлично для здоровья людей и животных. Установлена прямая зависимость между плотностью автомобильных потоков и содержанием свинца в почвах придорожной полосы. Естественно, что выращивание овощей и злаков, а также выпас скота вблизи транспортных магистралей небезопасны для здоровья человека.

ГЛАВА 14 ВЛИЯНИЕ ПОЧВЫ НА ЗДОРОВЬЕ И УСЛОВИЯ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ

14.1. Особенности и пути влияния почвы на здоровье и условия жизни населения

В отличие от воды и атмосферного воздуха, непосредственный контакт человека с почвой в современных условиях весьма ограничен и не приводит к болезненным расстройствам, за исключением возможности раневой инфекции. Тем не менее гигиеническое состояние почвы очень важно для практической санитарии.

Почва влияет на здоровье и условия жизни человека, как правило, *опосредованно.* Рассматривают несколько путей такого опосредованного воздействия.

Первый путь - *через растения* как продукты питания человека и животных. Количественная сторона питания человека может нарушаться при изменении плодородия почвы. Естественный круговорот веществ в природе обеспечивает постоянное повышение плодородия девственной почвы в результате кумуляции солнечной энергии и преобразования ее в энергию химических связей в почвенном биоценозе. Агробиоценоз, почва, преобразованная человеком с целью получения продуктов питания, способна дать то же количество первичной продукции, что и девственная почва, лишь при затрате энергии на порядок больше. Нарушение агротехнологии приводит не только к уменьшению количества продукции, но и к изменению ее качества.

Нарушение баланса химических элементов в почве может приводить к выраженным массовым заболеваниям, получившим название эндемических болезней. Неблагоприятно влияет на качество продуктов растениеводства почва, загрязненная отходами промышленности. В плодах и овощах, выращенных вблизи заводов, выбрасывавших в атмосферный воздух карбид кальция, наблюдались изменение кислотности, посторонний привкус; снижалась сахаристость винограда. У кроликов, которых кормили травой, выросшей в окрестностях завода вторичной переработки цветных металлов, по истечении 3 мес содержание свинца в печени было в 9 раз, а в костях в 5 раз больше, чем у контрольных животных. Вещества, попавшие в почву, могут накапливаться в растениях, включаться в пищевые цепочки и таким образом влиять на здоровье человека.

Второй путь опосредованного влияния почвы на здоровье - *через питьевую воду.* Почвенная вода может содержать все химические элементы и соединения, способные растворяться. При определенных условиях почвенный раствор может сообщаться с грунтовой водой, а через нее и с межпластовыми водоносными горизонтами. Так, Воронежский комбинат синтетического каучука в 40-х годах XX века сбрасывал

промышленные сточные воды для очистки на поля фильтрации. Спустя десятки лет от начала эксплуатации полей фильтрации население Воронежа, снабжавшееся питьевой водой из подземного межпластового горизонта, обратило внимание, что питьевая вода стала пениться. При расследовании было установлено присутствие в питьевой воде некаля - ПАВ, компонента сточных вод комбината. Понадобились затратоемкие и громоздкие мероприятия по переносу городского водозабора за пределы влияния полей фильтрации. Массовое распространение получило загрязнение грунтовых вод нитратами в результате избыточного применения азотных минеральных удобрений.

Третий путь влияния - *через почвенный воздух.* В местах интенсивного загрязнения почвы органическими веществами биологического происхождения (свалки бытовых отходов, поля орошения, фильтрации, кладбища и скотомогильники и пр.) состав почвенного воздуха значительно изменен. Содержание углекислоты может достигать 15-18 об.%, содержание метана увеличивается до 22 об.%, водорода до 27 об.%. Обмен почвенного и атмосферного воздуха приводит к его загрязнению в зоне дыхания людей. В результате возможны головные боли, слабость; отмечены случаи сильной интоксикации (обмороки, потеря сознания). Реально такие интоксикации могут наблюдаться при рытье колодцев, котлованов, пребывании (проживании) людей в подвалах с недостаточной изоляцией стен.

Почва, загрязненная физиологическими выделениями человека и животных, может обусловить распространение инфекционных заболеваний и гельминтозов. Патогенные микроорганизмы могут сохраняться, а иногда даже размножаться в почве. Очень устойчивы в этом отношении яйца гельминтов, особенно геогельминтов. Инфекционное начало поступает в организм человека либо через инфицированные овощи, либо с пылью, витающей в атмосферном воздухе. В сельской местности и в настоящее время сооружают дворовые уборные с поглощающим выгребом. Кишечная микрофлора распространяется из такого выгреба по почве в радиусе до 50 м.

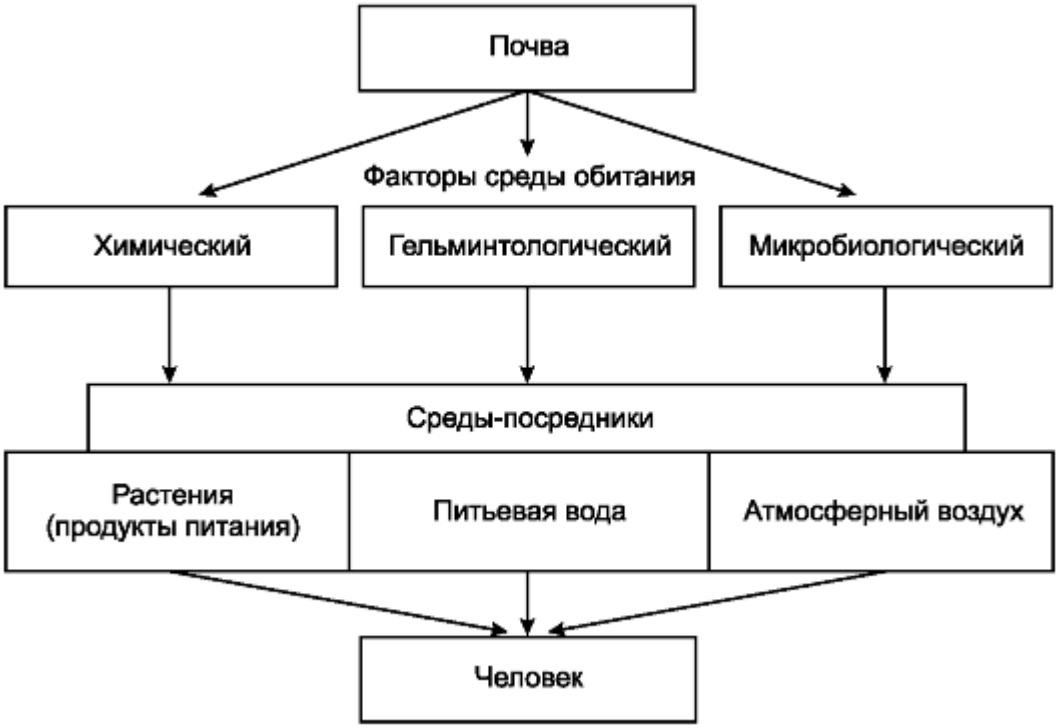


Рис. 14.1. Пути влияния почвы на здоровье и условия жизни человека.

Несоблюдение должного санитарного разрыва при сооружении грунтового колодца приводит к бактериальному загрязнению питьевой воды.

Пути влияния почвы на здоровье человека могут быть представлены схематически (рис. 14.1).

14.2. Проявления неблагоприятного влияния почвы на здоровье и условия жизни населения

Неблагоприятное опосредованное влияние почвы на человека может проявиться либо в виде болезней, нозологических форм (воздействие этиологических факторов), либо в нарушении условий жизни (воздействие факторов риска). Неблагоприятные факторы могут быть обусловлены природным составом почвы или техногенным (антропогенным) воздействием на почву.

Нарушения здоровья, связанные с природным составом почвы (микроэлементозы). Элементный состав почв чрезвычайно разнообразен. Имеются географические регионы, состав почв в которых резко

отличается от остальных по содержанию (повышенному или пониженному) и соотношению микроэлементов. Такие регионы получили название *биогеохимических провинций.*

Естественные биогеохимические провинции - это местности, в пределах которых биологические реакции живых организмов определяются аномальными уровнями содержания и соотношения природных микроэлементов. Они расположены в зонах залегания рудных и нерудных ископаемых, в зонах вулканизма, в обедненных химическими элементами почвенных зонах. Нарушение баланса химических элементов в почве и почвообразующих породах приводит и к соответствующему изменению химического состава воды местных водных объектов и в результате к необычным биологическим реакциям местной флоры и фауны. Микроэлементы, входя в состав различных химических регуляторов обмена веществ или действуя в виде неорганических соединений как катализаторы, оказывают огромное влияние на ход и направленность обменных процессов. Если аборигены биогеохимических провинций потребляют только местные продукты питания, у них могут развиваться патологические изменения и даже выраженные нозологические формы - так называемые *эндемические геохимические болезни.*

Низкий уровень йода в горных породах и почве приводит к низкому содержанию его в растениях, а затем и в мясе животных. Мало йода и в воде местных водных объектов. В результате пищевой рацион населения оказывается дефицитным по йоду. Это становится причиной массового заболевания *эндемическим зобом* в результате недостаточного синтеза тиреоидных гормонов, содержащих йод. Интенсивность зобной эндемии при одинаковом содержании йода в почве и других элементах природной среды меняется в зависимости от его соотношения с другими микроэлементами, в частности с медью и кобальтом. Чем больше соотношение медь: йод и кобальт: йод, тем интенсивнее зобная эндемия. Йодную недостаточность отягощает и дефицит витаминов. В литературе отмечено более 50 факторов риска, отягощающих йодную недостаточность и усугубляющих заболевание эндемическим зобом.

С гигиенических позиций важно, что эндемический зоб эпидемиологически связан с *эндемическим кретинизмом, глухотой и умственной отсталостью,* распространенность которых зависит от тяжести йодной недостаточности. Наиболее тяжелые случаи кретинизма у детей возникают при йодной недостаточности пищевого рациона беременной.

Эндемический зоб известен во всем мире; об эндемии говорят тогда, когда распространенность зоба в субпопуляции достигает 5% и более среди детей и подростков или 30% и более среди взрослых. Такая распространенность требует соответствующего вмешательства органов здравоохранения.

Суточное поступление йода в организм человека, по А.П. Виноградову, складывается из 70 мкг йода растительной пищи, 40 мкг мясной пищи, 5 мкг йода воздуха и 5 мкг йода воды, составляя всего 120 мкг/сут. Для предупреждения эндемического зоба в биогеохимической провинции достаточно 50 мкг йода в рационе.

В начале XX века существовали биогеохимические провинции, где распространенность зоба достигала 50% и более, распространенность кретинизма и глухоты в таких популяциях составляла 3-4%. Введение обязательной государственной программы снабжения населения йодированной солью в сочетании с должным контролем и санитарнопросветительной работой дает значимый результат через несколько лет.

В 1865 г. русский врач Н.И. Кашин описал эндемическую болезнь, названную *уровской* (по названию р. Уров в Забайкалье). Впоследствии эту болезнь детально изучил русский врач Е.В. Бек, ее стали называть болезнью Кашина-Бека. Эндемические очаги этой болезни описаны в Зейском районе Амурской области, в некоторых районах Тувы и в Корее. Болезнь представляет собой деформирующий остеоартрит, начинается в возрасте 8-20 лет, протекает хронически без характерных изменений внутренних органов. Развитие костной системы нарушено также у домашних и диких животных, обитающих в этих регионах.

В XX веке в эндемическом очаге уровской болезни выявили повышенное содержание в почве и растениях стронция (стабильного) и пониженное содержание кальция при меньшем дефиците бария, фосфора, меди, йода и кобальта. Конкурентные отношения стронция и кальция в живом организме известны из санитарно-токсикологических экспериментов.

Прогрессирование этой длительной болезни приостанавливается при радикальной перемене образа жизни, места жительства и питания. Приведенными примерами перечень эндемических болезней в биогеохимических провинциях не исчерпывается. Для эффективной борьбы с ними необходимы геохимические и биохимические исследования и статистическое доказательство причинно-следственных связей.

В современных условиях население развитых стран потребляет продукты питания из сырья, происходящего из других регионов. В связи с этим роль биогеохимических провинций в развитии микроэлементозов постепенно снижается, уступая место другим факторам (кулинарная обработка, неправильный рацион и режим питания и др.). Примечательно, что современные учебники и справочники содержат лишь редкие и краткие сообщения об уровской болезни, а частота эндемического зоба в регионах, где силами власти и общества проводятся профилактические мероприятия, рекомендованные ВОЗ, значительно снизилась.

Своеобразие биогеохимической обстановки может приводить не только к распространению этиологически обусловленных нозологических форм болезней. В конце XX века было проведено солидное эколого-гигиеническое исследование в республике Чувашия в течение более чем 20 лет. Натурные исследования были дополнены хроническими санитарно-токсикологическими экспериментами с биогеохимическим картированием территории республики. В зоне песчано-подзолистых почв у 48-88% коров было существенно повышено содержание в крови калия, кальция, фосфора, общего белка, альбуминов. Подобное повышение содержания электролитов и белковых фракций в крови наблюдалось также у 88-36% практически здоровых обследованных людей.

Подобные отклонения от физиологических норм у домашних животных, обитавших в той же республике в зоне серых лесных почв, наблюдались лишь в 3-10% случаев. Также отклонения нашли у 2- 15% обследованных людей.

В зоне песчано-подзолистых почв по сравнению с зоной серых лесных почв выше заболеваемость населения мочекаменной болезнью, рассеянным склерозом, раком желудка, хроническим холециститом, сахарным диабетом, хроническим гастритом, тиреотоксическим зобом. Функциональными пробами у аборигенов этого региона установлено значительное напряжение нейрогуморальных, гормональных и почечных механизмов гомеостаза. Учитывая одинаковые социально-экономические и бытовые условия жизни сельского населения двух указанных зон, авторы исследования (В.Л. Сусликов и др.) объясняют установленные факты этиологической и патогенетической ролью биогеохимических условий в зоне песчано-подзолистых почв. Это умеренный

недостаток йода и кобальта, высокое содержание кремния в почвах, грунтах и природных водах и неблагоприятное соотношение йода и кремния с другими микроэлементами. Не исключены и иные трактовки изложенных результатов, но роль биогеохимической обстановки в изменении электролитного и протеинового профиля крови и в повышенной заболеваемости сельского населения зоны песчано-подзолистых почв в Чувашии несомненна. Доказано, что дефицит эссенциальных микроэлементов способствует кумуляции и усилению токсического действия свинца, кадмия, никеля и других потенциально токсичных микроэлементов. Гипомикроэлементозы имеют ряд общих закономерностей. Все они сопровождаются снижением иммунорезистентности, морфологическими изменениями желез внутренней секреции со снижением их функциональной активности. Снижение иммунорезистентности и эндокринопатии создают благоприятные условия для развития разнообразной неинфекционной, в том числе и онкологической, патологии.

Нарушения здоровья, связанные с техногенным и антропогенным загрязнением почвы. Интенсивная производственная активность человека в XX веке, индустриализация, породившая производственные установки колоссальной мощности, многочисленные промышленные комбинаты и территориально-производственные комплексы привели к тому, что масштабы воздействия человека на природное окружение, в том числе и на почву, стали сравнимы, а иногда и превосходят естественные геологические процессы. На некоторых территориях появились нехарактерные для местных природных условий скопления различных химических веществ в самых разных сочетаниях. Такие территории получили название *техногенных биогеохимических провинций.*

Техногенные биогеохимические провинции - местности, в пределах которых аномальное содержание и соотношения макро- и микроэлементов, а вследствие этого и атипичные биологические реакции живых организмов биосферы полностью определяются хозяйственной деятельностью человека или ее последствиями. Техногенные биогеохимические провинции могут занимать как многие сотни и тысячи квадратных километров (территория Курской магнитной аномалии, отвалы нефелинов на Кольском полуострове и т.п.), так и ограниченную территорию городского района или его части, находящуюся в зоне влияния выбросов промышленного предприятия.

Типичный пример техногенной биогеохимической провинции - территория и окрестности г. Карабаш Челябинской области, в котором с 1910 г. действует медеплавильный завод. Выбросы завода в атмосферный воздух содержат оксиды и сульфиды многих металлов, в том числе свинца, в конце XX века его количество составляло до 2000 т в год. С 1992 г. в связи со снижением объема производства загрязнение атмосферного воздуха значительно уменьшилось, но загрязнение почв свинцом остается чрезвычайно высоким - от 200 до 1500 мг/кг.

Овощи, выращиваемые на этих почвах, содержат свинец в концентрации 1,5-2,5 мг/кг при допустимой остаточной концентрации (ДОК) 0,5 мг/кг. В меньшей степени превышены нормативы содержания в почве кадмия, мышьяка, никеля и цинка. У детей, посещающих детский сад в непосредственной близости от медеплавильного завода, по сравнению с детьми, проживающими в других районах города, повышено содержание в волосах цинка, ртути, калия, натрия и в меньшей степени меди при значительном снижении содержания кальция и магния. Это косвенно отражает нарушение минерального обмена организма.

Другим примером техногенной биогеохимической провинции может быть территория Томска, областного центра с полумиллионным населением и развитой химической, машиностроительной и приборостроительной промышленностью. Детальным геохимическим картированием территории города на основе спектрального анализа проб почвогрунтов определено распределение по территории города 48 элементов Периодической системы. Интегральная оценка распределения давалась по *суммарному показателю загрязнения (СИЗ),* который определялся по формуле:

СПЗ = С1/ПДК1 + С2/ПДК2... + ...С/ПДК,

где C_1, C_2,...$C_п$ - концентрации, фактически измеренные в пробах почвы; $ПДК_1$, $ПДК_2$,...$ПДК_п$ - предельно допустимые концентрации соответствующего элемента в почве.

В результате исследования установлено, что практически вся территория города представляет собой техногенную геохимическую провинцию, включающую участки с различными СПЗ. СПЗ, равный 2-15, считали слабым, 16-31 - средним и 32 и выше (до 128) - сильным загрязнением (рис. 14.2). Корреляционный анализ уровня загрязнения почвы микрорайонов Томска и заболеваемости (по группам болезней) проживающих в них детей не всегда показывал достаточно достоверную тесноту связи.

Причина этого, очевидно, в том, что при разработке не учитывалось влияние на показатели здоровья загрязнения атмосферного воздуха, зональное распределение которого, естественно, не полностью совпадает с зональным распределением загрязнения в почве.

Вторая причина слабой корреляции - меньший как прямой, так и опосредованный (через продукты питания и питьевую воду) контакт с почвой детей Томска по сравнению с сельским населением Чувашии. Однако определенный вклад техногенного загрязнения почвы газонов, парков и детских площадок (фактор риска) в нарушение здоровья городского населения не вызывает сомнений.

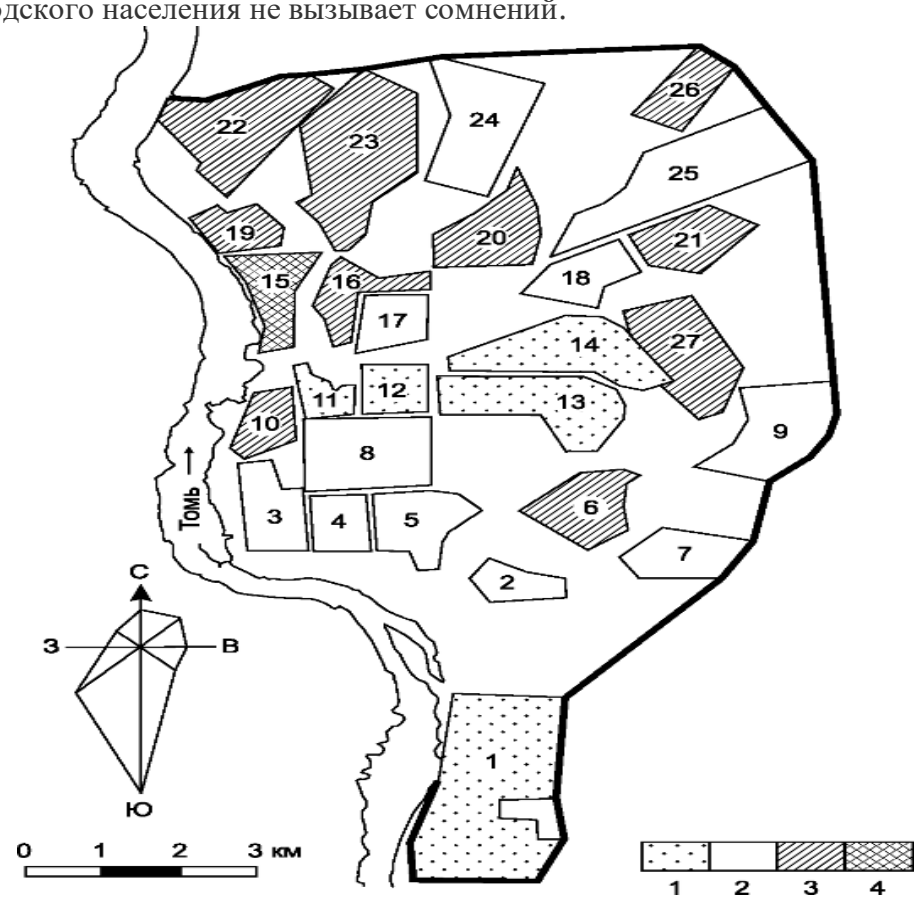


Рис. 14.2. Техногенное химическое загрязнение почвы г. Томска. Уровни загрязнения: 1 - СПЗ от 1 до 15 (неопасный); 2 - СПЗ от 1 до 31 (умеренно опасный); 3 - СПЗ от 32 до 127 (опасный); 4 - СПЗ 128 и выше (чрезвычайно опасный).

Числа от 1 до 26 - номера жилых микрорайонов города.

Загрязнение почвы физиологическими выделениями человека и животных происходит при выпасе скота, при хранении и использовании навоза в целях удобрения полей, при утилизации хозяйственно-бытовых сточных вод на коммунальных или земледельческих полях орошения. Возможно фекальное загрязнение почвы в неканализованных поселениях при низкой культуре домашнего хозяйства. Необходимо

помнить и о возможной опасности загрязнения почвы при несанкционированном вскрытии захоронений трупов животных с сибирской язвой. Споры бациллы сибирской язвы обнаруживаются в почве и грунтах через десятки лет, а при определенных условиях (температура воздуха не ниже 12 °С, присутствие гумуса и микроэлементов) бациллы способны и вегетировать в почве.

Заражение человека через загрязненную почву может происходить при самых различных обстоятельствах. Заражение столбняком и газовой гангреной возможно при непосредственном попадании загрязненной почвы на механически поврежденную кожу во время полевых, землекопных работ, военных действий. Заражение ботулизмом происходит через овощи, ягоды, грибы и пр. и создании анаэробных условий, благоприятных для размножения возбудителя (консервирование и пр.). Кишечные инфекции часто передаются через загрязненные почвой овощи, но наибольшую опасность представляет вторичное загрязнение источников питьевого водоснабжения - подземных и поверхностных вод.

Особенно велика роль почвы в распространении гельминтозов и паразитарных болезней, вызванных простейшими (лямблиоз, криптоспоридоз и пр.). Яйца геогельминтов (аскариды, власоглавы, стронгилоиды) с испражнениями больного попадают в почву, где проходят одну из стадий развития. Для человека они становятся заразными после того, как в них разовьется личинка. Зрелые инвазивные яйца попадают в организм человека с загрязненными почвой овощами. Аскаридоз является эндемичной инвазией в большинстве регионов России. Большая заболеваемость сельского населения и особенно детей убедительно свидетельствует о почвенном механизме заражения аскаридозом.

Заражение анкилостомидозом происходит через личинки анкилостом, которые в почве созревают из яиц. Более сложный, но эпидемиологически реальный путь заражения [больной человек-почва- промежуточный хозяин (свиньи, крупный рогатый скот)-человек] характерен для возбудителей тениидозов (бычий и свиной цепни).

Яйца геогельминтов сохраняют жизнеспособность в почве от 3 до 10 лет, биогельминтов - до 1 года, цисты кишечных патогенных простейших - от нескольких дней до 3-6 мес.

Определенное эпидемиологическое значение как механические переносчики возбудителей ряда инфекционных и инвазионных болезней человека имеют синантропные мухи (комнатные, мясные и др.), две стадии развития которых проходят в почве или скоплениях разлагающихся органических отходов. Для определения санитарно-энтомологического состояния почвы в пробах выявляют преимагинальные стадии (личинки и куколки) развития синантропных мух.

Таким образом, несмотря на ограниченность прямого контакта человека с почвой по сравнению с другими элементами среды обитания, неблагоприятное воздействие загрязненной почвы на здоровье сохраняет актуальность и в наши дни.

ГЛАВА 15 МЕТОДЫ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ РЕГЛАМЕНТАЦИИ СОСТОЯНИЯ И СОСТАВА ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

15.1. Гигиеническое нормирование содержания экзогенных химических веществ в почве

Гигиеническое нормирование химического фактора в среде обитания человека в XX веке успешно развивалось относительно многих элементов среды обитания человека - воды, атмосферного воздуха, воздуха рабочей зоны производственных помещений. Освоение космического и подводного пространства привело к нормированию химического состава и физических свойств воздуха космических и подводных аппаратов. Подобные исследования оказались актуальными и в области гигиены питания.

Однако в области гигиены почвы гигиенического нормирования долго не было. Почва является узловым моментом природного круговорота веществ, в ней в разнообразных комбинациях присутствуют все элементы Периодической системы Д.И. Менделеева и многие соединения и комплексы, присущие «живому веществу» (выражение В.И. Вернадского). Почва не потребляется человеком непосредственно, как воздух и вода, а ее опосредованное влияние на человека через другие элементы среды обитания контролируется гигиеническими нормативами в этих элементах. Однако в условиях широкой химизации сельскохозяйственного производства допустимое остаточное количество (ДОК) ядохимиката в продуктах питания не могло полностью исполнить свою профилактическую роль, поскольку отражало содержание опасного вещества в уже произведенном продукте. С появлением такого продукта цивилизации, как *городские сточные воды,* использование в сельскохозяйственном производстве самих сточных вод или осадков, образующихся при их очистке, приводило к накоплению в почве тяжелых металлов, которые переходили (транслоцировались) из почвы в выращиваемые на ней продукты питания в концентрациях, опасных для человека. В каких пределах можно использовать в агротехнике городские сточные воды или их осадки, было неизвестно. Таким образом, возникли предпосылки для гигиенического нормирования химического фактора не только в пищевых продуктах, непосредственно потребляемых человеком, но и на «дальних подступах», т.е. в почве. Проф. Е.И. Гончарук предложил методическую схему гигиенического нормирования содержания в почве *экзогенных* (преднамеренно вносимых в почву человеком) *веществ* и дал определение ПДК *экзогенного вещества* в почве.

ПДК экзогенного химического вещества в почве - максимальная концентрация (в миллиграммах на 1 кг абсолютно сухой почвы), при которой опосредованно при любых путях его миграции по экологическим цепочкам гарантируется отсутствие прямого или косвенного отрицательного воздействия на здоровье человека, его потомство и санитарные условия жизни населения.

Гигиеническое нормирование экзогенных химических веществ в почве - это многостадийное, разноплановое экспериментальное исследование с использованием широкого круга физических, физико-химических, химико-аналитических и агрономических методов. Эксперименты осуществляются на оригинальных лабораторных установках, позволяющих моделировать процессы межсредового перехода исследуемого вещества. Длительность исследования даже при его рациональной организации занимает 1-2 года.

На *первом этапе* изучают физико-химические свойства вещества и его стабильность в почве, главными характеристиками которой является время разрушения 50% вещества (T_{5o}) или практически всего вещества (Т).

Вторым этапом является обоснование объема экспериментальных исследований и ориентировочных пороговых концентраций по каждому показателю вредности при помощи *математических моделей* процессов миграции в водные объекты и атмосферный воздух, фитоаккумуляции (транслокации в растения) и деструкции исследуемого вещества в почве.

На *третьем этапе* исследований осуществляют лабораторные эксперименты по обоснованию подпороговых (недействующих) концентраций по 4 показателям вредности (фитоаккумуляционный, или транслокационный, миграционный водный, миграционный воздушный, общесанитарный) с целью установления *лимитирующего показателя вредности* и ПДК вещества в почве.

Фитоаккумуляционный (транслокационный) показатель вредности характеризует способность нормируемого химического вещества переходить из почвы через корневую систему в растение и накапливаться в его зеленой массе и плодах. Пороговой концентрацией по этому показателю вредности является та максимальная концентрация химического вещества в почве (в миллиграммах на 1 кг абсолютно сухой почвы), при которой накопление вещества в плодах сельскохозяйственных растений к моменту сбора урожая не превысит допустимых остаточных количеств, установленных для продуктов питания. Пороговаяконцентрация по этому показателю устанавливается в эксперименте с использованием фитоклиматической камеры (рис. 15.1).

Миграционный водный показатель вредности отражает миграцию изучаемого вещества в подземные (грунтовые) воды. Недействующей концентрацией по этому показателю вредности является максимальная концентрация вещества в почве (в миллиграммах на 1 кг абсолютно сухой почвы), при которой поступление химического вещества в грунтовые воды не превышает ПДК нормируемого вещества в воде водных объектов. Изучение вещества по этому показателю вредности проводится на фильтрационной установке (рис. 15.2).

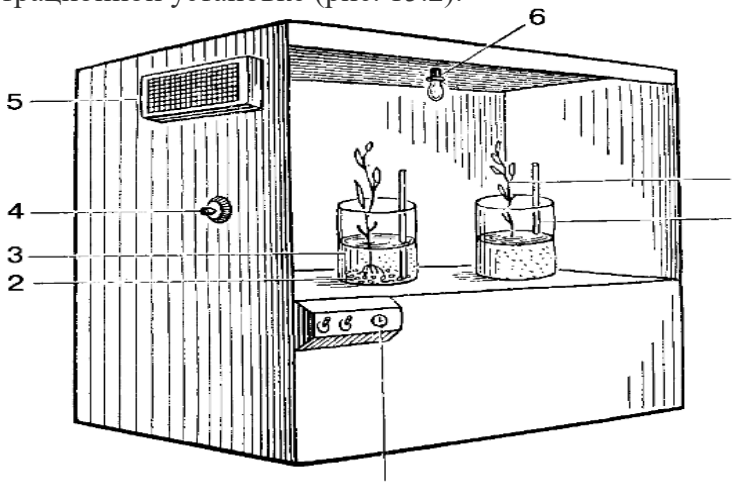


Рис. 15.1. Фитоклиматическая установка (схема).

1 - пульт управления; 2 - гравий; 3 - модельный почвенный эталон; 4 - терморегулятор; 5 - вентилятор; 6 - источник света; 7 - тест-растение; 8 - трубка для подачи воды.

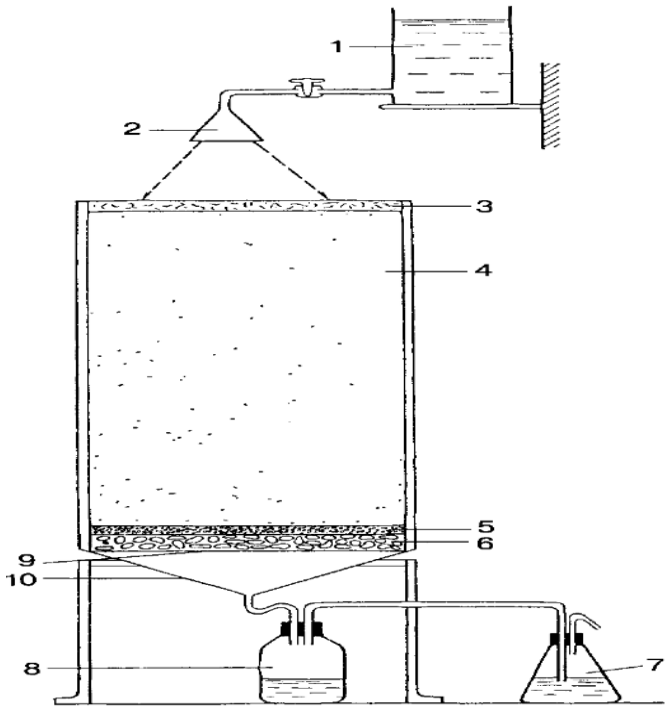


Рис. 15.2. Фильтрационная установка (схема).

1 - расходный бак; 2 - дозатор воды; 3 - слой модельного почвенного эталона; 4 - слой речного мелко- и среднезернистого песка; 5 - слой крупнозернистого песка; 6 - слой гравия; 7 - водяной затвор; 8 - колба для сбора фильтрата; 9 - дырчатое дно; 10 - наружное дно установки.

Миграционный воздушный показатель вредности отражает процессы поступления вещества из почвы в атмосферный воздух путем испарения и соиспарения с водой. Под недействующей концентрацией по этому показателю понимается максимальная концентрация вещества в почве (в миллиграммах на 1 кг абсолютно сухой почвы), при которой его поступление в атмосферный воздух не превышает установленной для него ПДК. Недействующая концентрация устанавливается экспериментальным путем в микроклиматической камере.

Общесанитарный показатель вредности характеризует влияние экзогенного химического вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность. Недействующей концентрацией по этому показателю является та максимальная концентрация вещества в почве (в миллиграммах на 1 кг абсолютно сухой почвы), которая не вызывает в течение 5-7 сут изменений общей численности основных физиологических групп почвенных микроорганизмов (спорообразующие бактерии, грибы, актиномицеты и др.) более чем на 50%, а также ферментативной активности почвы (инвертазная, дегидрогеназная, нитрифицирующая и пр.) более чем на 25% относительно контроля.

После проведения комплекса исследований по описанной методической схеме сравнивают результаты исследований (величины недействующих концентраций); наименьшая из четырех определенных концентраций представляется для утверждения в качестве *предельно допустимой,* а показатель, по которому она установлена, называется *лимитирующим показателем вредности.*

Согласно методическим указаниям по экспериментальному установлению ПДК экзогенных химических веществ в почве, все эксперименты проводятся с эталонными образцами песчаной почвы. Однако разные виды почв в значительной мере различаются по физико-химическим свойствам (сорбционная способность, биохимическая активность, влагосохраняющая способность и пр.). Само по себе превышение утвержденной ПДК не является полной характеристикой загрязнения почвы в конкретном почвенно-климатическом регионе. Для того чтобы оценить степень загрязнения почвы в конкретной санитарной ситуации, необходимо рассчитать показатели, которые отражали бы эти конкретные региональные почвенно-климатические особенности. Такими величинами, которые рассчитываются на основании утвержденных ПДК химических веществ в почве,

являются *предельно допустимые уровни внесения* (ПДУВ) экзогенных химических веществ в почву и их *безопасные остаточные количества* (БОК).

ПДУВ - безопасное для здоровья людей количество пестицида или агрохимиката (в килограммах на 1 га), вносимое в почву при ее химической обработке; БОК - безопасное для здоровья людей количество пестицида или агрохимиката (в миллиграммах на 1 кг почвы), оставшееся в почве ко времени выхода рабочих на сельскохозяйственные поля после их химической обработки и в конце вегетационного периода растений.

ПДУВ и БОК рассчитывают по формулам:

$$\text{ПДУВ} = \frac{\text{ПДК} \cdot 2d \cdot 10^2}{F} \text{ кг/га;}$$

$$\text{БОК} = \frac{\text{ПДК} \cdot F(t_к)}{100} \text{ мг/га,}$$

где d - удельная масса почвы; F - остаточное количество нормируемого вещества для конкретных почвенно-климатических условий; t - контрольное время, сут.

Величину F, необходимую для расчета ПДУВ и БОК, можно определить экспериментально или с помощью известной величины F для одного из наиболее стабильных экзогенных химических веществ - ДДТ. В этом случае поправочный коэффициент (величина F) определяется отношением периода полураспада ДДТ (T_{50}) к периоду полураспада изучаемого экзогенного вещества в конкретных условиях. Рассчитанные таким способом нормативы и служат критерием загрязненности почвы в конкретных санитарных условиях.

Автор методической схемы проф. Е.И. Гончарук предложил и пятый этап исследований - изучение влияния загрязненной экзогенными химическими веществами почвы на состояние здоровья населения с целью корректировки гигиенических нормативов содержания в ней экзогенных химических веществ (ПДК, ПДУВ, БОК). Однако, несмотря на теоретическую доказанность влияния химического состава почвы на здоровье населения, в прямых наблюдениях доказать влияние *конкретной* почвы на *конкретную* группу людей невозможно. Это обусловлено двумя причинами: многозвенностью и опосредованностью путей воздействия состава почвы на здоровье человека и разнообразием путей формирования пищевого рациона конкретных людей как по временному, так и по пространственному критерию. Тем не менее профилактическое значение ПДК экзогенных веществ в почве несомненно, поскольку дает в руки санитарного врача инструмент контроля антропогенного вмешательства при агротехнических и агрохимических мероприятиях в процессе как их планирования, так и проведения.

Как видно из изложенного, методология гигиенического нормирования химических веществ в почве имеет принципиальные отличия от нормирования в воде и атмосферном воздухе. Как в том, так и в другом случае конечный результат исследования - ПДК - обосновывается экспериментальным путем. Однако при нормировании в воде и атмосферном воздухе проводятся токсикологические и санитарно-токсикологические эксперименты на теплокровных животных, а результаты эксперимента экстраполируются на человека и выражаются в виде гигиенического норматива. При гигиеническом нормировании химического фактора в почве, опосредованно влияющей на человека, в эксперименте моделируются *условия межсредовой миграции* исследуемого вещества в культурные растения, в воду или в атмосферный воздух, а суждение о величине норматива ($ПДК_{поч}$) основывается на непревышении нормативов этого вещества в воде, воздухе или в продуктах растениеводства. Таким образом, гигиеническая цель исследования достигается экспериментально, но с помощью химических, физико-химических и агротехнических, а не санитарно-токсикологических методов, а гигиенический норматив (ПДК или ПДУВ) выражает не влияние содержащегося в почве

вещества на здоровье человека, а *условия безопасности для здоровья межсредовых переходов нормируемого вещества.*

ПДК в почве обоснованы и утверждены для 13 анионов металлов и нескольких десятков пестицидов и агрохимикатов. Большинство нормативов установлено по транслокационному показателю вредности; для 8 веществ лимитирующий показатель - миграционный водный, для 9 - общесанитарный. Миграционный воздушный показатель оказался наименее актуальным - по нему нормируются только 5 веществ.

В связи с потребностями санитарной практики на основе расчетных и экспериментальных экспресс-методов разработаны временные гигиенические нормативы - (ОДУ) для 50 пестицидов, как правило, по транслокационному показателю вредности. Таким образом, опыт гигиенического нормирования экзогенных химических веществ в почве свидетельствует, что культурные растения активно поглощают пестициды, которые сохраняются в них достаточно долго и анионы токсичных металлов, которые накапливаются в продуктивных частях растений. Это нужно учитывать в практике государственного санитарно-эпидемиологического надзора в области химизации сельскохозяйственного производства.

15.2. Санитарные показатели почвы

Как и в области санитарной охраны водных объектов, в санитарной охране почвы, кроме гигиенических нормативов, используют санитарные показатели, по которым можно судить об обезвреживании загрязнений почвы и обосновывать решения о возможности использования участков территории для тех или иных целей (табл. 15.1). Допустимые пределы санитарных показателей почвы для тех или иных объектов выработаны эмпирически и указываются в соответствующих санитарных правилах.

Таблица 15.1. Санитарные показатели почвы поселений

Показатели	Состояние почвы		
	чистая	умеренно загрязненная	грязная
Санитарно-химические: санитарное число Хлебникова (N : N) \ гумуса органич'	0,98	0,85-0,70	Менее 0,70
Санитарно-бактериологические: коли-индекс перфрингенс-индекс	Менее 1000 Менее 100	1000-100 000 100-1000	Выше 100 000
Санитарно-гельминтологические: содержание жизнеспособных яиц гельминтов (шт/кг)	0	До 10	10-100
Санитарно-энтомологические: содержание личинок и куколок мух (шт/0,25 м^2 поверхности)	0	До 10	10-100

Санитарное число отражает давность органического загрязнения почвы и завершенность гумификации.

Присутствие кишечной палочки и спор перфрингенс - свидетельство загрязнения почвы фекалиями человека или животных; по соотношению этих микроорганизмов можно судить о давности загрязнения. Малое количество кишечных палочек и присутствие спор *Bac. perfringens* свидетельствуют о давнем фекальном загрязнении. Санитарное значение гельминтологических и энтомологических показателей понятно без комментариев.

Санитарное благополучие почвы определяется не абсолютным уровнем санитарных показателей, а их адекватностью функциональному назначению исследуемого участка почвы. Почва мест рекреации, детской площадки должна быть категории «чистая». Почва сельскохозяйственных угодий, в которую в соответствии с агротехнической картой внесли органические удобрения, несмотря на категорию в соответствии с табл. 15.1 «грязная», не требует проведения санитарных мероприятий. Санитарные показатели почвы имеют большое значение при выборе участка для нового строительства, при надзоре за сооружениями для обезвреживания отходов как в процессе эксплуатации, так и в период вывода из эксплуатации.

ГЛАВА 16. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ

16.1. Определение понятия «санитарная охрана почвы населенных мест»

Санитарная охрана почвы населенных мест - комплекс мероприятий для предупреждения и устранения таких изменений состава и свойств почвы, которые могут оказать вредное влияние на здоровье и условия жизни населения.

Особенности почвы как элемента среды обитания, охарактеризованные в предыдущих главах, позволяют рассматривать мероприятия по санитарной охране почвы применительно к функциональному назначению участков почвы в хозяйственной и бытовой деятельности человека. По этому принципу можно выделить мероприятия по охране почвы сельскохозяйственных угодий, почвы территории поселений, почвы в местах обезвреживания бытовых и промышленных отходов производства и потребления. Осуществляются также мероприятия в процессе рекультивации земель, т.е. восстановления хозяйственной ценности земель после окончания эксплуатации карьера для добычи полезных ископаемых, после ликвидации породоотвала, вывода из эксплуатации полигона захоронения твердых бытовых отходов (ТБО) или твердых промышленных отходов (ТПО), после окончания строительства какого-либо объекта и пр.

16.2. Мероприятия по санитарной охране почвы сельскохозяйственных угодий

Важнейшее направление в этой группе санитарно-профилактических мероприятий - контроль за правильным применением пестицидов и агрохимикатов. Существуют гигиенические нормативы, обеспечивающие безопасность применения этих соединений в сельском хозяйстве и поступления остаточных количеств в организм человека с продуктами питания на уровне, безопасном для здоровья. Постоянно проводится работа по замене препаратов менее токсичными и обладающими большей избирательностью биологического действия и менее стабильными. Совершенствуются товарные формы препаратов, а также способы обработки полей, позволяющие снизить дозу внесения. СанПиН «Гигиенические требования к хранению, применению и транспортированию пестицидов и ядохимикатов» регламентируют размеры санитарных разрывов

обрабатываемых полей от границы поселений, водоохранных зон, мест рекреации (300 м), а также скорость ветра (не более 4 м/сек), при которой разрешается обработка почвы или посевов наземными вентиляторными и штанговыми тракторными опрыскивателями. Ранее широко применявшаяся авиационная обработка допускается по согласованию с санитарно-эпидемиологической службой лишь при необходимости быстрой обработки больших площадей.

Применение химических средств на участках садоводческих товариществ, личных подсобных хозяйств рекомендуется ограничивать препаратами, которые отмечены в каталоге литерой «Л».

16.3. Мероприятия по санитарной охране почвы населенных мест и рекреационных зон

Большую часть территории современных поселений занимают дорожные и иные покрытия, которые являются инженерными сооружениями и не относятся к категории почвы. Почвенный покров в современных поселениях сохраняется лишь на территории озелененных участков общегородского, районного и местного значения, на территориях детских дошкольных и образовательных учреждений, стационарных учреждений здравоохранения. На этих территориях естественные биоценозы уже преобразованы в искусственные агробиоценозы и, следовательно, по законам экологии требуют для воспроизводства первичной продукции затрат энергии на порядок больше, чем естественные. Для поддержания почвы поселений в здоровом состоянии необходимо проведение комплекса агромелиоративных мероприятий (квалифицированный уход за газонами, цветниками, древесно-кустарниковыми насаждениями), которые способствуют повышению биологической и ферментативной активности почвы и процессов ее самоочищения. Простое создание газонов на территории населенных мест способствует размножению актиномицетов, антагонистов патогенных микроорганизмов кишечной группы, улучшая тем самым антимикробные свойства почвы.

Санитарное состояние почвы поселений имеет большое эпидемиологическое и общеоздоровительное значение, в силу чего должно находиться под пристальным вниманием санитарно-эпидемиологической службы. По санитарным правилам почва озелененных участков территорий должна иметь категорию «чистая» (см. табл. 15.1).

Санитарное состояние почвы территории поселений обеспечивается в большой мере через соблюдение законодательства и санитарных правил в других сферах хозяйственной деятельности. Зонирование территории поселений и выделение промышленной зоны с учетом розы ветров, разработка и организация санитарно-защитных зон промышленных предприятий, соблюдение правил обращения с ТБО и ТПО, канализование территории поселения, правильное содержание домашних животных, запрещение использования этилированного бензина городским транспортом во многом способствуют охране почвы поселений от загрязнения.

В неканализованных поселениях необходимо проведение санитарно-просветительной работы по вопросам оборудования, содержания отхожих мест и рациональным приемам утилизации нечистот и бытовых отходов; эффективность этой работы повышается при привлечении к ней общественных организаций (правлений садоводческих товариществ, товариществ собственников жилья и т.п.).

Для сохранения должного санитарного состояния территорий рекреационных зон наряду с обычными мероприятиями по санитарному благоустройству большое значение имеет соблюдение *рекреационной емкости экосистемы,* которая измеряется числом посещений на 1 га в год. Это научно обоснованный экологический норматив, который, к сожалению, пока не получил законодательного утверждения. Рекреационная емкость зависит от типа экосистемы; так, для лесов Европейской части России она составляет от 7 чел/га (для сосновых лесов) до 30 чел/га (для широколиственных лесов). При инженерном

оборудовании рекреационной территории (система дорожек, игровых площадок, скамеек для отдыха и пр.) рекреационная емкость может быть повышена до 50 чел/га.

Определенной рекреационной емкостью обладают и водные экосистемы. Так, на 1 га водной поверхности должно приходиться не более 5-10 весельных лодок, а на 1 моторную лодку необходимо уже 8 га. Одному купающемуся необходимо 5-25 $м^2$ водной поверхности, 20-40 $м^2$ пляжа и 300 $м^2$ прилегающей к пляжу территории.

При превышении экологического норматива рекреационной емкости экосистем развивается так называемая рекреационная сукцессия, которая приводит к разрушению рекреационных ресурсов. В конечном счете создается санитарно-эпидемиологическое неблагополучие территории или акватории.

Функцию городского хозяйства *«Обращение с твердыми бытовыми и промышленными отходами»* традиционно относят к области санитарной охраны почвы. Система обращения с отходами включает сбор отходов, их удаление с территории поселения (транспортировку к местам обезвреживания), обезвреживание, складирование или захоронение. Два первых элемента системы организуются и осуществляются на территории поселения, остальные - на специально выделенных, спланированных и оборудованных полигонах или заводах по обезвреживанию и утилизации ТБО и ТПО.

Существует несколько схем сбора и вывоза ТБО с территории жилой застройки:

- с использованием несменяемых сборников (контейнеров). По этой схеме после выгрузки отходов из контейнера в спецавтотранспорт (мусоровоз) его устанавливают на прежнее место (контейнерную площадку). Контейнеры закреплены за домовладениями, и их ремонт и регулярное мытье являются обязанностью жилищно эксплуатационных предприятий. Преимуществами схемы являются возможность уплотнения вывозимых отходов при погрузке их в спецавтотранспорт, а также обслуживание домовладений, в которые громоздкие автомашины спецавтотранспорта не могут заехать;

- с использованием сменяемых контейнеров. Порожний контейнер выгружается с платформы мусоровоза, а на его место устанавливается заполненный контейнер с контейнерной площадки. Заполненные контейнеры вывозят для разгрузки на предприятия по обезвреживанию ТБО. Освобожденные контейнеры моют централизованно на мусороперерабатывающем заводе или полигоне захоронения ТБО.

Контейнерные площадки должны располагаться на расстоянии не более 100 м от обслуживаемых подъездов и не ближе 20 м от окон ближайших квартир, детских учреждений, спортивных площадок и зон отдыха. Для предупреждения выплода мух и распространения геогельминтозов контейнерные площадки должны иметь твердое покрытие и достаточные размеры для предупреждения контакта отходов с почвой (контейнеры должны занимать не более 25-30% площадки). Отходы следует вывозить летом ежедневно, зимой не реже 1 раза в 2 сут. Большое санитарное значение имеет правильный расчет числа контейнеров на площадке, в основу которого берутся местные нормы накопления ТБО и численность обслуживаемого населения;

- бесконтейнерная, или планово-поквартирная схема. Такая схема применяется в небольших городах с домами не более 5 этажей, в южной части России. Спецавтотранспорт прибывает точно в назначенное время, к которому жильцы должны вынести квартирные мусоросборники и погрузить отходы в мусоровоз. Введению этой системы должна предшествовать активная разъяснительная работа с населением. Эффективность этой схемы во многом зависит от достаточности спецавтотранспорта и соблюдения графика движения автомашин.

Доставка бытовых отходов из домовладения на предприятия по обезвреживанию ТБО может осуществляться одноэтапно, когда спецавтотранспорт загружается в домовладении, а разгружается на предприятии по обезвреживанию ТБО. При двухэтапной системе обычные мусоровозы собирают отходы в домовладениях и доставляют их на перегрузочную станцию, где ТБО перегружают в большегрузный транспорт и направляют на предприятие по обезвреживанию. На перегрузочной станции отходы можно

прессовать, дробить, упаковывать в тюки для удобства дальнейшей транспортировки. Двухэтапная схема позволяет вывозить ТБО на большие расстояния за пределы городской агломерации. Перспективна двухэтапная система с эвакуацией ТБО на первом этапе по специальной сети пневматических трубопроводов. При этом исключается курсирование мусоровозов по городским магистралям, что снижает нагрузку на магистрали и улучшает санитарное состояние города.

В настоящее время в большинстве городов России ТБО удаляют по одноэтапной системе, но тенденция к увеличению накопления ТБО (количество на 1 жителя) может потребовать перехода на двухэтапную систему, которая имеет экономические преимущества.

Вывезенные из города ТБО поступают на предприятия по обезвреживанию и утилизации, которые потенциально опасны с санитарной точки зрения.

16.4. Методы обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов

ПО данным А.П. Щербо в России в настоящее время накоплено более 80 млрд т отходов при ежегодном образовании около 30 млн т ТБО и 120 млн т ТПО; для их хранения отчуждено более 2 млн га земли, на многие десятилетия выведенной из хозяйственного оборота.

Методы обезвреживания и переработки ТБО А.П. Щербо (2002) предлагает делить на *ликвидационные* (призванные решать главным образом гигиенические задачи) и *утилизационные* (имеющие целью использование полезных составляющих наряду с обезвреживанием отходов).

Основными методами обезвреживания ТБО, способными обеспечить санитарную очистку населенных мест, являются депонирование на полигонах захоронения или свалках (ликвидационный механический), компостирование в полевых условиях с получением органического субстрата для удобрения полей, биотермическая переработка на индустриальных предприятиях с получением компоста или биотоплива (утилизационный биологический), а также мусоросжигание (ликвидационный термический). Названные методы в нашей стране, по неполным данным, составляют: депонирование - 87,5%, переработка в компост - 6,5%, сжигание - 5%, прочие методы - 1% от массы ТБО. Данные по зарубежным странам представлены в табл. 16.1.

Приведенные в табл. 16.1 методы обезвреживания ТБО рассматриваются ООН как основные и массовые.

Таблица 16.1. Основные методы обезвреживания ТБО (% массы) за рубежом (Щербо А.П., 2002)

Страна	Накопление ТБО, млн т/год	Полигоны, свалки	Компости-рование	Сжигание	Прочие методы
Австрия	1,6	70	18	10	2
Бельгия	2,4	62	9	29	-
Великобритания	16,5	89	1,4	9,5	0,1
Дания	1,9	27,5	0,5	70,0	2,0
Италия	15	60	10	25	5
Нидерланды	3,2	50	19	30	1
США	23,5	85	0,1	14	0,9
Франция	16	46,4	12	40,7	0,9
Германия	28	65	5	30	-
Швейцария	1,3	14	10	70	6
Швеция	2,5	53	9,9	37	0,1
Япония	32	26,4	0,5	63	0,1

Все остальные предлагаемые ныне методы переработки и обезвреживания ТБО еще неспособны обеспечить широкомасштабное оздоровление среды обитания человека или

охрану природы. Удаление отходов - многофакторная задача, которая должна решаться в каждом случае с учетом санитарной, экологической обстановки, экономических и климатогеографических условий.

Наиболее распространенным методом обезвреживания бытовых отходов в настоящее время является захоронение на *полигонах ТБО.*

Полигоны ТБО - специальные инженерные сооружения природоохранного назначения, предназначенные для изоляции и обезвреживания ТБО. Обезвреживание отходов на полигонах ТБО происходит в результате биохимических процессов, в основном термофильной микрофлоры, развивающихся в теле полигона. В процессе обезвреживания участвуют и все остальные представители биоценоза полигона: грибы, водоросли, черви и пр. Выполняя при правильной организации и эксплуатации природоохранную функцию, полигон ТБО сам по себе представляет опасность для окружающей природной среды, а также для санитарно-эпидемиологического благополучия территории и здоровья населения. В атмосферном воздухе в расположении полигона обнаруживаются различные бактерии, грибы, актиномицеты в высоких концентрациях; в теле полигона постоянно образуются и выделяются в атмосферный воздух метан, оксид углерода, фенолы, аммиак, сероводород, толуол, ксилол и другие органические соединения, смесь которых получила название *биогаза.* Биогазу присущи все токсические, аллергические и неблагоприятные органолептические свойства его компонентов; кроме того, биогаз взрыво- и пожароопасен.

В процессе биохимического распада твердых отходов в теле полигона образуется фильтрат, в котором в высоких концентрациях присутствуют растворимые соединения всех химических элементов, в том числе токсичных металлов; органическая составляющая фильтрата представлена углеводородами, алифатическими и ароматическими карбоновыми кислотами, спиртами, кетонами в высоких концентрациях. $БПК_{полн}$ фильтрата от 1500 до 40 000 мг 0_2/л, ХПК до 80 000 мг О/л. Концентрации и соотношения компонентов фильтрата зависят от состава отходов и времени существования полигона. Фильтрат загрязняет почву в окрестностях полигона, а при неблагоприятных природных условиях может проникать в грунтовые воды и воды поверхностных водных объектов.

В теле полигона даже при надлежащей эксплуатации создаются новые биотопы для домашних и полевых грызунов, мух, комаров - переносчиков зоонозных и трансмиссивных болезней.

До недавнего времени роль полигонов захоронения ТБО играли так называемые *усовершенствованные свалки* - специально отведенные территории, на которые вывозили, а также разравнивали и уплотняли отходы. Геологические барьеры на территории усовершенствованных свалок не предусматривались. Почва в окрестностях одной из таких свалок в Московской области на расстоянии от 150 м до 1,5 км содержала высокие концентрации многих металлов (никель, кобальт, хром, молибден, медь, свинец, цинк, стронций). СПЗ почвы на этой территории достигал 7,95-14,8 (в теле полигона СПЗ был более 200). Высокое содержание металлов наблюдалось также в донных осадках ручьев и прудов в зоне влияния свалки. Такие уровни загрязнения среды обитания представляют опасность для здоровья человека.

Для уменьшения этой опасности к организации, эксплуатации полигона, а также к консервации после окончания эксплуатации предъявляются определенные санитарные требования. Участок для полигона выбирают с учетом геологических, гидрогеологических, орографических условий, взаиморасположения с окружающими поселениями (расстояние и роза ветров); для размещения полигона можно использовать овраги, выработанные карьеры и другие неровности рельефа. Площадь участка, отводимого под полигон, выбирается, как правило, на срок эксплуатации (не менее 15 лет).

В соответствии с Санитарными правилами «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов» не допускается размещение полигонов ТБО в рекреационных зонах, на территории 1-го и 2-го поясов ЗСО источников питьевого водоснабжения, во всех зонах охраны курортов и источников минеральных вод, а также в местах выхода на поверхность трещиноватых горных пород.

Радиус санитарно-защитной зоны полигона должен составлять 1000 м. Однако его достаточность должна быть уточнена расчетом распространения газообразных выбросов и установлена по изолинии, соответствующей концентрации наиболее токсичного компонента выброса 1 $ПДК_{ат}$.

Геологическим основанием полигона должны быть глины или тяжелые суглинки; при отсутствии таких пород необходимо устройство водонепроницаемого экрана из глины или искусственных каландрированных геомембран. Высота стояния грунтовых вод на территории полигона должна быть не менее 2 м. По дну котлована полигона укладывается дренаж для сбора и последующего обезвреживания фильтрата. Последовательность основных технологических процессов при эксплуатации полигона ТБО показана на рис. 16.1. Материалом для изолирующих слоев могут служить ТПО 4-го класса опасности (малоопасные). На территории полигона, кроме участков для складирования и захоронения, могут быть специальные инженерные сооружения для сортировки, переработки или уничтожения отходов. Обязательна организация мониторинга грунтовых вод (высота стояния, химический состав) и химического состава и санитарных показателей почвы в санитарно-защитной зоне полигона.

Закрытие полигона (вывод из эксплуатации) осуществляется после его отсыпки на проектную высоту.

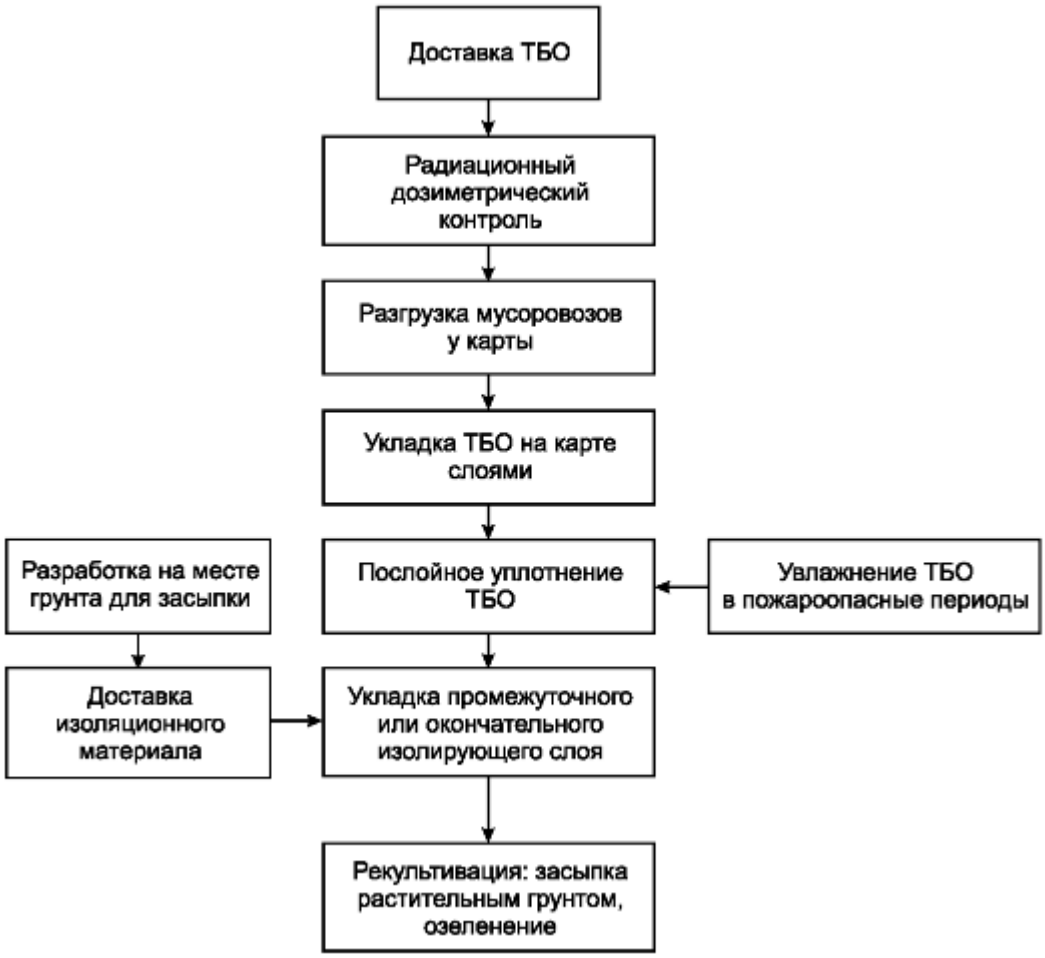


Рис. 16.1. Схема основных технологических операций при эксплуатации полигона ТБО.

Последний слой отходов при выводе из эксплуатации окончательно перекрывается наружным изолирующим слоем грунта, мощность которого в зависимости от последующего использования территории полигона может колебаться от 0,6 до 1,5 м. Поверх изолирующего слоя укладывают слой плодородного грунта, поверхность бывшего полигона озеленяют для предотвращения выветривания и размывания атмосферными осадками. Территорию выведенного из эксплуатации полигона захоронения ТБО можно использовать для создания лесопарков, открытых складов товаров непищевого назначения. Капитальное строительство на территории полигона ТБО, выведенного из эксплуатации, не допускается в течение не менее 40 лет.

Существенным недостатком полигонов захоронения ТБО является большая площадь земли, на многие десятилетия выводимая из хозяйственного оборота. На урбанизированных территориях с высоким уровнем хозяйственного освоения выбрать участок для размещения полигона, который удовлетворял бы всем гигиеническим и экологическим требованиям, невозможно.

Эффективной альтернативой полигонам захоронения ТБО является индустриальный способ биотермического обезвреживания ТБО на *мусороперерабатывающих заводах (МПЗ)*. Индустриальный способ обеспечивает сбережение земельных ресурсов, использование ряда компонентов (прежде всего металлов) в качестве вторичного сырья, производство из отходов новых целевых продуктов (биотопливо, компост, инертный строительный материал), уменьшает загрязнение почвы и водных объектов.

Принципиальная схема завода биотермической переработки ТБО представлена на рис. 16.2.

Основным технологическим звеном завода являются горизонтальные вращающиеся барабаны-ферментаторы диаметром около 2 м и длиной 60 м, в которых происходит биотермическая переработка отходов. Внутри барабана установлено шнековое устройство (винтовой конвейер) для перемещения массы отходов по длине ферментатора. Отходы, загруженные с одного конца ферментатора, продвигаются с помощью шнека до противоположного конца за 2-3 сут. Преобразование ТБО в продукт, безвредный в санитарно-эпидемиологическом отношении, обеспечивает тепло, выделяемое аэробной термофильной микрофлорой ТБО. Температура обезвреживаемой при медленном вращении ферментатора массы без искусственного подогрева и бактериальных добавок достигает 60-65 °С, что создает условия для ускоренной трансформации органических веществ в более стабильные, годные для питания растений формы, для отмирания патогенной микрофлоры, яиц гельминтов и личинок мух.

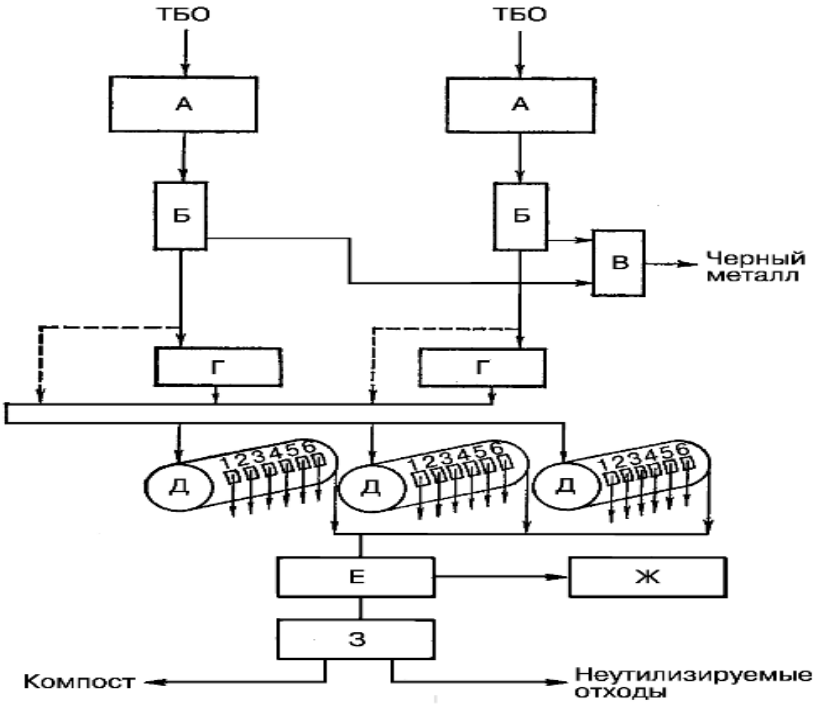


Рис. 16.2. Схема завода биотермической переработки ТБО. А - приемный бункер; Б - ленточный магнитный сепаратор; В - пакетировочный пресс для черного металла; Г - дробилка; Д - горизонтальные вращающиеся ферментаторы; Е - электроиндукционный сепаратор цветного металла; Ж - пакетировочный пресс для цветного металла; З - грохот.

При 3-суточном цикле ферментации товарным продуктом является эпидемиологически безопасное органическое удобрение для открытого грунта, при 2-суточном цикле товарным продуктом является биотопливо для закрытого грунта (теплиц, парников), тоже обезвреженное в отношении яиц гельминтов и личинок мух, но с более низким колититром. Для нормальной работы ферментатора и получения высококачественного товарного продукта в технологический цикл включены дополнительные звенья, а именно электромагнитная сепарация черного металла, электроиндукционная сепарация цветного металла, гравитационная сепарация стекла, воздушная сепарация бумаги и пленок. Перед укладкой готового продукта в штабеля на грохоте отделяется неферментируемая фракция (камни, кожа, текстиль, пластмасса и пр.), которая составляет около 20% исходной массы отходов. Эта часть отходов направляется для захоронения на полигон ТБО.

Сжигание отходов производится на *мусоросжигательных установках (МСУ).* Мусоросжигание целесообразно при содержании в ТБО активного органического вещества менее 30%, а также при отсутствии гарантированных потребителей компоста и биотоплива в радиусе 15 км от возможного места расположения МПЗ. МСУ могут проектироваться с утилизацией тепла, образующегося при сжигании отходов, для производства электроэнергии.

Поскольку ТБО представляют собой разномерную и разнохарактерную по теплотворной способности массу, обеспечение полноты сгорания и эффективной очистки дымовых газов от вредных и опасных компонентов становится сложной технологической задачей. Температурные параметры топок МСУ ограничены 900-1000 °С. При более низких температурах не полностью разлагаются дурно пахнущие газообразные вещества, более высокие приводят к быстрому износу металлических элементов топки. МСУ должны быть оборудованы надежной системой очистки отходящих газов в виде комбинации циклонов, скрубберов и электрофильтров; стоимость системы газоочистки составляет не менее 20% стоимости строительства завода. Несмотря на высокую эффективность газоочистки МСУ в отношении взвешенных веществ и большей части отходящих газов (оксиды азота, серы, углерода), выбросы МСУ в атмосферу содержат

полихлорированные дибензо-п-диоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ), чрезвычайно опасные вещества, способные давать токсические и канцерогенные эффекты в дозах, составляющих сотые доли пикограмма на 1 кг массы.

Зола и шлак, образующиеся при сжигании ТБО, составляют от 275 до 430 кг на 1 т ТБО. Эти опасные промышленные отходы, содержат, кроме обычных минеральных веществ, тяжелые металлы в концентрациях порядка сотен миллиграммов на 1 кг, а также диоксины. Опасность представляют и сточные воды МСУ, формирующиеся из промывных вод системы газоочистки и транспортной воды системы шлакозолоудаления; в них также содержатся тяжелые металлы и диоксины. Удельное количество сточных вод составляет 1 $м^3$ на 1 т перерабатываемых отходов. Таким образом, сжигание ТБО в обычных установках влечет за собой образование большого количества других не менее опасных продуктов, приводящее к загрязнению почвы, воды и атмосферного воздуха, не избавляет от необходимости захоронения опасных отходов (золы и шлака), образующихся при сжигании ТБО. Попытки совершенствования технологии сжигания на МСУ (слоевое сжигание, низкотемпературная газификация, сжигание в кипящем слое и пр.) пока не привели к положительным результатам. При сжигании ТБО на каждый кубометр отходов расходуется около 150 $м^3$ чистого атмосферного воздуха.

Перспективным методом термического обезвреживания ТБО считается *пиролиз* - высокотемпературный (от 400 до 1200 °С) способ разложения органического вещества без доступа кислорода и без добавления химических реагентов (многофазный процесс карбонизации органического вещества). Товарными продуктами пиролиза являются либо горючий газ, содержащий много метана *(швель-газ),* либо полимерные смолы сложного химического состава, используемые в химической промышленности. Шлаки, образующиеся в процессе пиролиза, инертны и могут быть утилизированы при строительстве дорог или в промышленности строительных материалов. Объем захораниваемых шлаков составляет около 20% массы, подвергнутой пиролизу. Основные технологические этапы пиролиза ТБО показаны на рис. 16.3. Пиролиз в противовес сжиганию трактуют как экологически чистый (протекающий в замкнутом аппарате) технологический процесс, характеризующийся простотой аппаратурного оформления, минимальными выбросами в атмосферный воздух, большей способностью к переработке проблемных отходов (пластмассы, резины и пр.). В настоящее время пиролиз может быть компонентом более сложных систем обезвреживания ТБО, например обработки неферментируемой фракции ТБО, полученной при биотермическом обезвреживании ТБО на МПЗ заводе. Возможно использование пиролиза и при уничтожении в ограниченных масштабах некоторых видов *опасных отходов.*

В заключение следует отметить, что какого-либо одного универсального метода обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов, удовлетворяющего современным экологическим, гигиеническим требованиям и рационального с экономических позиций, не существует. Тенденция мировой практики в этой области - *комплексная переработка ТБО,* основанная на промышленной технологии по принципу комбинации различных методов, объединяемых рациональной сортировкой отходов на всех этапах цикла обращения, начиная со сбора ТБО в домовладениях, и максимальное повторное использование фракций отходов или товарных продуктов их переработки в различных отраслях хозяйства.

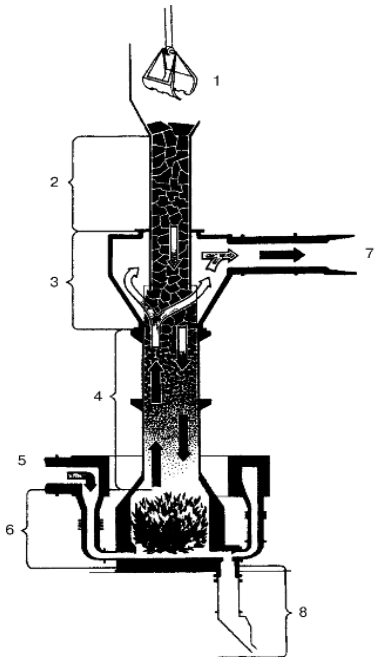


Рис. 16.3. Установка пиролиза ТБО.

1 - загрузочный грейфер; 2 - зона накопления отходов; 3 - зона сушки; 4 - зона пиролиза; 5 - подача воздуха в топку; 6 - зона первичного сжигания и плавления; 7 - отходящие горючие газы (товарный продукт); 8 - удаление и охлаждение шлака.

16.5. Гигиенические аспекты утилизации и обезвреживания твердых промышленных отходов

К твердым промышленным отходам наряду с остатками сырья, полупродуктов, находящихся в твердом сухом состоянии, относят и вещества (смеси веществ) пастообразной консистенции (клеи, кубовые остатки и пр.), а также твердые отходы повышенной влажности (шламы гальванических и других производств, осадки очистных сооружений канализации и пр.).

ТПО образуются в больших количествах в результате физико-химической переработки сырья, добычи и обогащения полезных ископаемых; их образование не является целью данного производственного процесса, и для получения целевого товарного продукта ТПО должны быть выведены за пределы производства. Большинство ТПО можно использовать в качестве вторичного сырья для получения других целевых продуктов, для части ТПО возможны восстановление полезных свойств и повторное использование (рециклинг). Большие успехи в этом направлении достигнуты при производстве цветных металлов (рис. 16.4), широко внедрен рециклинг в производстве бумаги и картона, есть разработки в области повторного использования материала автомобильных покрышек в строительстве.

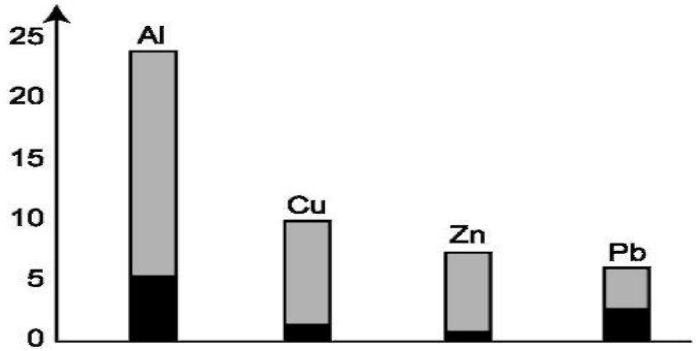


Рис. 16.4. Мировое производство основных цветных металлов в 1990 г. Темно-серым цветом отмечена доля металлов, полученных из вторичных источников.

Среди ТПО особо выделяются *опасные отходы, под которыми понимают вещества или смеси веществ, обладающие опасными для человека или окружающей среды свойствами (токсичностью, взрыво- и пожароопасностью, высокой реакционной*

способностью) или содержащие возбудители инфекционных болезней. По степени опасности промышленные отходы делятся на 4 класса: 1-й класс - чрезвычайно опасные, 2-й класс - высокоопасные, 3-й класс - умеренно опасные, 4-й класс - малоопасные. ТПО 1-3-го класса при невозможности повторной переработки или другого способа утилизации подлежат захоронению на полигонах ТПО с целью полной и долговременной изоляции от окружающей среды. По данным А.И. Монисова, в настоящее время в России накоплено около 2 млрд тонн опасных отходов.

Отходы 4-го класса при наличии положительного санитарно-эпидемиологического заключения можно использовать в качестве изолирующего грунта на полигонах ТБО, в некоторых случаях в дорожном строительстве, при вертикальной планировке территории.

Выбор места для полигона захоронения и обезвреживания опасных ТПО - очень трудная гигиеническая и инженерно-геологическая задача. Полигон должен располагаться на достаточном удалении от поселений, рекреационных зон, поверхностных водных объектов, сельскохозяйственных угодий, на территории с мощным естественным противофильтрационным экраном, низким стоянием грунтовых вод и маломощными глубокими горизонтами подземных вод, не используемых для питьевого и хозяйственного водоснабжения. При оборудовании полигона принимают меры для предупреждения распространения ливневых и талых вод за границы полигона, для чего сооружают кольцевую канаву и глиняные валы достаточной высоты. Способ захоронения ТПО зависит от агрегатного состояния, водорастворимости и класса опасности отходов. В частности, захоронение водорастворимых отходов 1-го класса (чрезвычайно опасных) производится в котлованах в контейнерной упаковке в стальных баллонах со стенками толщиной 10 мм, помещаемых в бетонный короб. Заполненные отходами котлованы изолируют уплотненным слоем глины толщиной 2 м, после чего покрывают водонепроницаемым покрытием из гудрона, цементогудрона.

Примером удачного решения может служить межрегиональный полигон ТПО «Красный бор» в Ленинградской области. Геологический разрез территории полигона представлен 4 м четвертичных отложений, ниже которых залегает 70-метровый горизонт нижнекембрийских глин, имеющий широкую область распространения, а под ними - 20-метровый горизонт глин с прослоями песка. Грунтовые и межпластовые воды на этой глубине не встречены. Полигон принимает опасные промышленные отходы предприятий Ленинградской,

Новгородской и Тверской областей. Часть отходов (горючих) подвергается термическому уничтожению, остальные захораниваются в котлованы, вырытые в глиняной толще, с предварительной подготовкой (взаимная нейтрализация кислых и щелочных продуктов, смешивание пастообразных и пылевидных компонентов для повышения вязкости и пр.), что позволяет более экономно использовать территорию полигона.

16.6. Мероприятия по рекультивации техногенно нарушенных земель

Рекультивацией нарушенных земель называется искусственное восстановление плодородия почвы и растительного покрова после техногенного нарушения природной среды в процессе добычи полезных ископаемых или крупномасштабного строительства.

Раздел рекультивации нарушенных земель должен быть в каждом проекте, связанном с техногенным вмешательством в геологическую среду: проекте добычи полезных ископаемых, гидротехнического строительства, строительства или вывода из эксплуатации любого крупного объекта. Рекультивация осуществляется в несколько этапов (горнотехнический, технический и биологический).

Горнотехнический этап рекультивации по существу является завершающим этапом горного цикла (добычи полезных ископаемых). На этом этапе осуществляются мероприятия по защите рыхлых пород от эрозии, по восстановлению гидрогеологического режима горной выработки; все работы проводятся с использованием горной техники.

На техническом этапе производят вертикальную планировку рекультивируемой территории, формирование откосов, транспортировку и нанесение плодородных пород на рекультивируемые земли, строительство дорог, гидротехнических и мелиоративных сооружений.

На заключительном, биологическом, этапе осуществляется комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на возобновление флоры и фауны, восстановление хозяйственной продуктивности земли.

Гидрогеологический и гидрохимический мониторинг должен продолжаться и после рекультивации; его продолжительность определяется динамикой наблюдаемых процессов.

При проведении мероприятий по рекультивации нарушенных земель, как правило, не возникает конкретных санитарных вопросов и основная роль в их разработке и осуществлении принадлежит землеустроителям, агрономам, лесоводам и другим специалистам сельского и лесного хозяйства. Однако проведение таких мероприятий во многом способствует оздоровлению природной среды региона, восстановлению природной и эстетической ценности нарушенных земель и тем самым санитарно-эпидемиологическому благополучию.

ГЛАВА 17. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР ЗА САНИТАРНЫМ СОСТОЯНИЕМ ПОЧВЫ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ

Надзор в области химизации сельскохозяйственного производства. Использование химических веществ в растениеводстве ограничивается препаратами, включенными в

«Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных для применения на территории Российской Федерации». Такой каталог выпускается каждый год Министерством сельского хозяйства России. Все препараты, включенные в каталог, проходят гигиеническое нормирование, их агротехнические нормы внесения, кратность обработок соотносят с гигиеническими нормативами действующего начала или других компонентов препарата. Соблюдение агротехнических норм внесения становится одновременно и соблюдением санитарных правил.

Применение химических средств на участках личных подсобных хозяйств рекомендуется ограничивать препаратами, которые в каталоге отмечены литерой «Л».

В административном регионе для контроля за применением пестицидов целесообразно установить *региональный норматив суммарного расходования пестицидов на 1 га обрабатываемых площадей угодий.* При разработке регионального норматива необходимо учесть ассортимент применяемых в регионе препаратов, их токсикологическую опасность, агротехнические регламенты внесения и кратности обработки, способность к сохранению и трансформации в окружающей среде. Региональный норматив удобен для контроля за применением пестицидов; при выявлении нарушения норматива в каком-либо хозяйстве по учетным документам дальнейшее расследование обстоятельств и последствий нарушения следует проводить с использованием лабораторно-аналитических методов.

СанПиН «Гигиенические требования к хранению, применению и транспортированию пестицидов и ядохимикатов» ограничивается или запрещается химическая обработка на некоторых территориях (селитебные зоны поселений, территории 1-го и 2-го поясов ЗСО источников питьевого водоснабжения, рекреационные территории, территории заповедников, природных национальных парков, заказников). Не допускается химическая обработка сельскохозяйственных полей, занятых культурами, идущими в пищу без термической обработки. При наземной обработке необходимо соблюдение санитарного разрыва от границ перечисленных территорий не менее 300 м, а при использовании авиации - не менее 2000 м. Во избежание переноса пестицидов во время работ на перечисленные критические территории запрещено проводить химическую обработку полей при скорости ветра более 4 м/с.

Хранение агрохимикатов и пестицидов допускается только в специально построенных и оборудованных складах, на территории которых должны быть площадки для обмывки транспортных средств и аппаратуры, используемых для обработки посевов. На площадках должны быть водонепроницаемые емкости для сбора воды, загрязненной пестицидами и агрохимикатами.

Производственный контроль за применением пестицидов и агрохимикатов обязаны осуществлять в соответствии с «Законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» производители сельскохозяйственной продукции. Санитарными правилами предписано ведение в хозяйствах «Книги учета прихода-расхода пестицидов по складу хозяйства» и бригадного «Журнала учета применения пестицидов на посевах, теплицах и пр.».

Надзор на территории населенных мест и рекреационных зон. В порядке предупредительного санитарного надзора санитарная организация рассматривает генеральную схему очистки территории города как часть генерального плана города.

Важнейшим параметром генеральной схемы является *норма накопления ТБО - количество отходов на одну расчетную единицу (1 житель, 1 место в гостинице, больнице, 1 м^{2}торговой площади в магазине и т.д.) за определенный период (сутки, год).* Норма накопления измеряется в единицах массы или объема. Она зависит от климатогеографических условий, характера поселения, благоустройства зданий, культуры торговли, развития общественного питания и пр. Норма накопления ТБО имеет тенденцию к увеличению со временем. Исходя из нормы накопления, по известным методикам рассчитывают все остальные параметры генеральной схемы: необходимое

количество контейнеров, спецавтотранспорта, величину пробега, требуемую площадь полигона захоронения или мощность МПЗ и т.д. Должным образом обоснованная и согласованная норма накопления ТБО является залогом гигиенической эффективности генеральной схемы очистки.

Полнота и своевременность удаления с территории предприятий и города и обезвреживания ТПО регулируются системой хозяйственных договоров предприятий, на которых отходы образуются, со специализированными предприятиями, перерабатывающими отходы.

Вопросы чистоты почвы поселения и ее пригодности для сооружения того или иного объекта рассматриваются в процессе выбора и отвода участка для строительства. Заключение по выбору участка для строительства должно основываться на результатах лабораторных санитарно-химических, санитарно-микробиологических и санитарно-энтомологических исследований с оценкой почвы по санитарным показателям и гигиеническим нормативам (ПДК и ОДК).

Порядок и условия содержания территорий поселений устанавливаются органами местного самоуправления по согласованию с органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Большое значение в поддержании санитарно-эпидемиологического благополучия на рекреационных территориях имеет ликвидация несанкционированных свалок ТБО. Основным мероприятием в этом направлении должен быть строгий контроль за заключением владельцами и администрацией поселений (садовые товарищества, дачные поселки и пр.) мест массового отдыха (пляжи, спортивные комплексы и пр.), договоров со спецавтохозяйствами на вывоз ТБО, рациональное размещение контейнеров для их первичного сбора. Способы административного контроля рейдов, штрафов отдельных нарушителей на автотрассах эффекта не дают. В порядке текущего санитарно-эпидемиологического надзора необходимо проводить лабораторные исследования почвы на объектах города, где есть наибольшая возможность контакта с ней человека: детские, спортивные площадки, пляжи, зоны рекреации и т. п.

Производственный контроль санитарного состояния улиц, внутриквартальных и озелененных территорий, систем сбора и удаления отходов является функцией городских органов жилищно-коммунального хозяйства.

Надзор в процессе эксплуатации сооружений для обезвреживания ТБО и ТПО. Основной задачей надзора является охрана среды обитания и населения от неблагоприятных факторов, связанных с работой этих сооружений. Надзор основывается на результатах геологического, гидрогеологического и санитарно-химического мониторинга на этих сооружениях.

Большую роль в охране среды обитания и контроле соблюдения санитарных правил при функционировании системы обращения отходов играет паспортизация ТПО на основе их классификации по степени опасности. (СП «Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов».) В типовой форме паспорта ТПО содержатся химическая характеристика состава отходов, краткое описание мер безопасности при их транспортировке, захоронении или переработке. Паспорт представляется с каждым рейсом автомашины на каждый вид отходов за подписью ответственных лиц предприятия.

Руководящим нормативным документом санитарно-эпидемиологического надзора при захоронении ТБО являются санитарные правила «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов». Этими правилами регламентируется весь жизненный цикл полигона - от выбора места для его размещения до консервации после закрытия.

Производственный контроль эксплуатации полигона организуется его администрацией. Разработанная администрацией полигона в соответствии с санитарными правилами программа производственного контроля согласовывается с органом государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Лабораторная служба

полигона систематически контролирует фракционный, морфологический и химический состав отходов, поступающих на полигон.

Надзор в процессе рекультивации нарушенных земель. Раздел «Рекультивация нарушенных земель» является составной частью каждого проекта строительства карьера для разработки полезных ископаемых и других объектов, связанных с нарушением геологической среды и почвенного покрова в процессе строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации. В этом разделе должен быть предусмотрен порядок снятия, складирования и дальнейшего использования плодородного слоя перед началом строительства, определены характер и возможные ограничения использования рекультивированной территории и предложены направления биологического этапа рекультивации. Указанные вопросы являются предметом рассмотрения при составлении «Санитарно-эпидемиологического заключения по проекту строительства». Оценку проектного решения необходимо давать с учетом действующей градостроительной документации (территориальная комплексная схема градостроительного планирования территории субъекта РФ, генеральный план города), а также местных климатических и экологических условий. В процессе строительства объекта и вывода его из эксплуатации следует контролировать выполнение согласованных проектных решений и соблюдение сроков их выполнения.

Длительность существования промышленных и иных объектов, связанных с нарушением или загрязнением земель, требует разрабатывать детальный проект рекультивации перед выводом объекта из эксплуатации и давать по нему санитарно-эпидемиологическое заключение.

ПРИЛОЖЕНИЕ   САНИТАРНО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

В воде присутствуют неорганические и органические вещества.

Неорганические вещества присутствуют в воде в силу природных причин - вода как универсальный растворитель содержит много различных ионов, состав и соотношение которых определяются условиями формирования воды источника, составом водовмещающих пород.

На состав как поверхностных, так и подземных природных вод влияет и техногенный фактор - поступление в водные объекты промышленных сточных вод, поверхностный и подземный (в том числе дренажный) сток с сельскохозяйственных полей, эксфильтрация с территорий промышленных отвалов, накопителей промстоков и пр.

Неорганические вещества могут быть взвешенными и растворенными, как правило, в ионной форме.

Взвешенные вещества. Гигиеническое значение взвешенных веществ в питьевой воде не ограничивается их влиянием на органолептические свойства (мутность). Вирусы, имеющие диаметр порядка 10 мкм, под влиянием электростатических сил сорбируются на мелких глинистых частицах (диаметр порядка 10 мкм) и вместе с ними переносятся с током воды. Кроме того, глинистые частицы сорбируют ионы растворенных веществ, вступая с ними в ряде случаев в ионообменные реакции. При поступлении в организм с взвешенными частицами вирусы начинают играть роль инфекционного агента, десорбируются и вступают во взаимодействие с внутренней средой организма. Таким образом, питьевая вода, не удовлетворяющая гигиеническому нормативу по показателю мутности, не может считаться эпидемиологически безопасной и химически безвредной. Сказанным объясняются высокие гигиенические требования к содержанию взвешенных веществ в питьевой воде.

Асбест, несомненно, бластомогенен для человека при ингаляционном поступлении. Профессиональный контакт с асбестом ведет к существенному увеличению частоты рака легких. Асбест поступает в воду из естественных месторождений, со сточными водами различных предприятий, где он используется в технологическом процессе, из асбестоцементных водопроводных труб. По данным литературы, в природной воде асбест может встречаться в концентрациях 1-10 млн волокон в 1 л и более.

В 70-80-е годы XX в. в большинстве исследований не было обнаружено канцерогенного действия питьевой воды, загрязненной даже большими количествами асбеста. Следует отметить, что и в эксперименте на животных не обнаружено специфического действия даже больших концентраций асбеста в воде. В обзоре отечественных ученых (Красовский Г.Н. и др., 1985) сделан вывод о том, что канцерогенный эффект асбеста, поступающего в организм с водой, не подтвержден ни в экспериментальных, ни в натурных условиях. Таким образом, большинство исследователей считают, что асбест в питьевой воде не представляет опасности для здоровья человека.

Далее будет дана гигиеническая характеристика химических веществ, присутствующих в природных водах России. В первую очередь рассмотрены элементы, соединения которых способны давать токсические эффекты в концентрациях, превышающих ПДК.

Алюминий - один из самых распространенных элементов (8% массы земной коры). Алюминий поступает в организм различными путями (запыленный воздух, дезодоранты, пищевые продукты, лекарственные препараты, питьевая вода). Многие клинические и экспериментальные исследования свидетельствуют о нейротоксичности алюминия, о его способности накапливаться в нервной ткани, но в определенных условиях. Избыточному накоплению алюминия в организме препятствует механизм его выделения. В обычных условиях с мочой может выделиться 10-15 мг/сут алюминия. При увеличении экзогенного поступления алюминия у людей без патологии почек выделение может достигать 200-500 мг/сут. При нарушении выделительной функции почек в связи с различными заболеваниями алюминий может накапливаться в печени и, что особенно важно, в головном мозге, приводя к тяжелым расстройствам функции центральной нервной системы. Высокие концентрации алюминия в природной воде встречаются нечасто и зависят от многих факторов (pH, комплексообразователи, редокс-потенциал системы, сброс промышленных сточных вод). Концентрации алюминия в подземных водах

колеблются от 0 до 242,2 мг/л, в поверхностных - от 0 до 10 мг/л. В воде значительной части источников водоснабжения концентрации алюминия составляют миллиграммы-десятые доли миллиграмма в 1 л. Гигиеническое нормирование алюминия в питьевой воде связано с применением его соединений в качестве коагулянта при водоподготовке. Однако широкое распространение источников водоснабжения с биологически значимыми концентрациями алюминия требует контроля его содержания при выборе источника водоснабжения.

Барий. В природных водах бария около 0,001-0,01 мг/л, редко 0,1 мг/л. Геотермальные соленые воды могут содержать до 10 мг/л бария. Барий может поступать в источники водоснабжения со сточными водами металлургической, машиностроительной, фармацевтической промышленности, производства бумаги, пластических материалов. В воде хорошо растворимы хлористый и азотнокислый барий, а также его гидроксиды.

Растворимые соединения бария хорошо всасываются и способны к кумуляции в организме. Барий - высокотоксичное вещество, способное в весьма низких дозах вызывать неблагоприятные отдаленные последствия - гонадотоксический, эмбриотоксический и мутагенный эффекты. При поступлении в организм барий способен накапливаться в костной ткани, что усугубляет его опасность для здоровья.

Бериллий известен как высокотоксичный и кумулятивный клеточный яд. Доказаны его цитотоксический, сенсибилизирующий, эмбриотоксический и канцерогенный эффекты, в основном при ингаляционном поступлении. Бериллий плохо всасывается при поступлении с водой, так как в кислом содержимом желудка образуются нерастворимые соединения. Однако бериллий проникает во все органы, клетки и органеллы, повреждает клеточные мембраны и способен давать множественные отдаленные неблагоприятные эффекты. Эти обстоятельства делают гигиеническое нормирование бериллия достаточно актуальным. Концентрации бериллия в подземных водах горно-складчатых областей (Урал) в десятки и сотни раз превышают предельно допустимые, а поверхностные воды загрязняются бериллием при поступлении стоков предприятий космической и авиационной промышленности, объектов ядерной энергетики, производства люминесцентных ламп, кинескопов.

Бор. Высокие концентрации бора содержатся в сильно минерализованных подземных водах, морской воде. Есть биогеохимические провинции с повышенным содержанием бора в почве, растениях, воде поверхностных источников (степные районы Омской, Новосибирской областей, Алтайского края). На этих территориях питьевая вода является основным источником поступления бора в организм человека.

В эксперименте и в натурных условиях высокие концентрации бора в питьевой воде вызывали серьезные расстройства половых функций у представителей обоего пола, а также давали выраженный эмбриотоксический эффект. Бор хорошо всасывается в желудочно-кишечном тракте, но медленно выводится. Биологические эффективные концентрации бора в питьевой воде опасны для здоровья. Поскольку существуют биогеохимические провинции с повышенным содержанием бора в окружающей среде, этот элемент включен в программу аналитических исследований при выборе источника питьевого водоснабжения, а при его присутствии в воде источника - в программу анализа питьевой воды.

Молибден необходим для организма, но расстройства при его недостатке в рационе описаны только у домашних животных. Избыток молибдена может вызывать нарушения обмена пуриновых оснований, которые выражаются в полиартралгиях и артрозах (молибденовая подагра).

Содержание молибдена в подземных и поверхностных водах обычно не превышает тысячных и сотых долей миллиграмма в 1 л, но известны геохимические провинции, например в Томской области, где концентрации молибдена в воде достигают десятых долей миллиграмма в 1 л. В районах с промышленной добычей молибдена в загрязненных сточными водами поверхностных водоемах наблюдались концентрации молибдена до 1

мг/л. Биологическая активность молибдена в водах с высоким содержанием сульфатов ниже, так как сульфаты способствуют выведению молибдена с мочой.

Мышьяк. В середине XIX века среди населения одного из городов Силезии появились массовые заболевания, получившие название копытной болезни из-за характерных наростов-мозолей на коже стоп. В дальнейшем установили, что это следствие постоянного потребления колодезной воды с высокими концентрациями мышьяка. У людей, потреблявших питьевую воду с высоким содержанием мышьяка, описаны также различные формы поражения кровеносных сосудов. Известны случаи отравления мышьяком в результате потребления воды из законсервированной шахты по добыче мышьяковистой руды. Международное агентство по изучению рака (МАИР) считает доказанной роль мышьяка, содержащегося в воде, в возникновении опухолевых заболеваний человека. По оценкам экспертов ВОЗ, потребление в течение всей жизни воды, содержащей 0,2 мг/л мышьяка, обусловливает риск развития рака кожи у 5% потребителей.

Содержание мышьяка в пресных поверхностных и подземных водах, как правило, небольшое, но на территориях биогеохимических провинций, связанных с залеганием полиметаллических руд, может превышать 1 мг/л. В водах с pH, близкой к нейтральной, могут быть мышьяковистая кислота в молекулярной форме, анионы мышьяковой кислоты, комплексные соединения мышьяка с органическим веществом. Специальными исследованиями показана одинаковая опасность для здоровья воды, содержащей указанные формы мышьяка.

В промышленных отвалах (гидрохимические процессы цветной металлургии, зола ТЭЦ, работающих на угле) могут быть высокие концентрации мышьяка, создающие реальную опасность загрязнения грунтовых и межпластовых вод.

Нитраты и нитриты. В середине прошлого столетия в США были описаны два смертельных случая токсического цианоза среди детей раннего возраста в результате использования для разведения молочных смесей колодезной воды, содержащей высокие концентрации нитратов. Причиной смерти было накопление в крови метгемоглобина - деривата гемоглобина, не способного к переносу кислорода из крови в ткани. В дальнейшем это заболевание получило название водно-нитратной метгемоглобинемии. Название болезни не совсем точно отражает патогенетический механизм метгемоглобинообразования. Метгемоглобин образуется в результате связывания оксигемоглобина не с нитратами, а с нитритами, появляющимися в результате восстановления нитратов в кишечнике человека. Восстановительная среда в кишечнике наблюдается у людей, страдающих дисбактериозом, нарушениями ферментативной активности кишечника.

Основным источником поступления нитратов в организм человека считаются растительные продукты питания. Однако следует учитывать, что нитраты воды в 1,5 раза токсичнее нитратов, содержащихся в овощах. При повышенном содержании нитратов в воде ее роль в нагрузке организма нитратами окажется ведущей.

В последние 2 десятилетия большое внимание привлекает канцерогенная опасность, связанная с присутствием в воде нитратов и нитритов. Сами эти соединения канцерогенного действия, по-видимому, не оказывают, но в 1967 г. впервые экспериментально показана возможность образования канцерогенных N-нитрозосоединений из нитрита натрия и вторичных легконитрозируемых аминов в желудочном соке человека. Многочисленные работы в дальнейшем не только подтвердили способность нитритов и нитратов участвовать в синтезе N-нитрозаминов, но и выявили их способность снижать резистентность организма к воздействию других бластомогенных и мутагенных агентов.

Уровень нитратов в воде, с которого увеличивается потенциальная канцерогенная опасность для населения, пока не установлен, но специалисты ВОЗ считают, что

содержание нитратов в воде, безопасное в отношении метгемоглобинемии (10 мг/л по азоту или 45 мг/л по моноксиду азота) неопасно и по признаку канцерогенности.

Нитраты и нитриты в воде могут быть природного и антропогенного происхождения. Соединения природного происхождения не достигают, как правило, концентраций, опасных для здоровья. Это*санитарные показатели,* отражающие процессы естественного самоочищения водных объектов от органического природного загрязнения. Основным источником нитратов антропогенного происхождения являются минеральные азотные удобрения от их производства до применения. Второй по важности источник - жидкие отходы индустриальных животноводческих комплексов. Хотя изначально азот находится в составе органических комплексов, при вынужденном длительном хранении жидкого навоза он минерализуется до нитратов, концентрации которых могут быть очень высокими. Нитратное загрязнение окружающей среды, в том числе и воды, в настоящее время одинаково актуально как для развитых, так и для развивающихся стран.

Свинец. Известны случаи тяжелых отравлений свинцом при употреблении водопроводной воды в странах Западной Европы. Высокие концентрации свинца в воде (0,6-2,0 мг/л) были обусловлены применением свинцовых труб и резервуаров в системах водопровода. В нашей стране использование свинца в водопроводной практике запрещено.

В настоящее время ни в производственных, ни в бытовых условиях не наблюдается тяжелых свинцовых отравлений. Однако, накапливаясь в костях, свинец способен вызывать нарушения эритропоэза, поражать нервную систему, почки, приводить к раннему атеросклерозу. При концентрации свинца в питьевой воде 0,1 мг/л в организме кумулируется 50% поглощенного свинца, и его содержание в крови составляет 0,025 мг/л. Такое содержание свинца в крови считается предельным, так как при небольшом его превышении нарушается образование эритроцитов. ПДК свинца в воде составляет 0,03 мг/л. Особенно важен контроль содержания свинца в пищевом сырье и воде для производства детского питания. Детский организм усваивает свинец в 3-4 раза интенсивнее, чем взрослый.

Содержание свинца в подземных водах, как правило, не превышает норматив, но в районах залежей полиметаллических руд, особенно в мягких водах и водах с низким pH, могут создаваться опасные концентрации свинца.

В незагрязненных озерных и речных водах природное содержание свинца не превышает 0,01 мг/л, но может повышаться при поступлении промышленных сточных вод. Значительное количество свинца (от 50 до 90%) задерживается на очистных сооружениях водопровода при использовании обычных методов водоподготовки.

Селен - необходимый человеку микроэлемент; он участвует во многих биохимических процессах, синтезе специфических белков, входит в состав глютатионпероксидазы - фермента, способного в синергизме с витамином Е к нейтрализации свободных радикалов. При высоком содержании селена в питьевой воде нарушаются формирование эмали зубов, кальциевый обмен, функция печени.

Селен часто присутствует в подземных водах, но фоновые его концентрации, как правило, не превышают допустимых (ПДК селена в воде 0,01 мг/л). Однако известны геохимические провинции (Тува, Южный Урал), где концентрации селена в воде достигали 0,4 мг/л.

Стронций. В местностях, где для питьевых целей используется вода глубоких подземных горизонтов с повышенным содержанием стронция, у детей выявлены нарушения развития костной ткани с задержкой развития зубов и поздним заращением родничка, а также снижение числа детей с гармоничным физическим развитием. Отмеченная патология отражает конкурентные отношения стронция и кальция при распределении в организме.

Аналогичные данные были получены в санитарно-токсикологическом эксперименте. Результаты натурных и экспериментальных исследований послужили основанием для

предложения отечественного норматива содержания стабильного стронция в питьевой воде. Необходимость норматива по стронцию в нашей стране обусловлена тем, что подземные воды, обогащенные стронцием, распространены на территории ряда областей Европейской части России, в Прикаспии, Якутии. Особенно высокие концентрации (более 7 мг/л) обнаружены в подземных водах Смоленской, Тверской областей, Среднем Поволжье, Астраханской и Московской областей. Содержание стронция в речной воде, как правило, составляет десятые доли миллиграмма в 1 л и лишь на некоторых территориях возрастает до нескольких миллиграммов в 1 л.

Фтор. Избыток фтора в питьевой воде вызывает *флюороз,* одним из признаков которого является пятнистость эмали зубов. Появляясь в период формирования постоянных зубов, пятнистость эмали остается на всю жизнь, а при глубоком поражении эмаль теряет прочность и разрушается. Избыточное поступление фтора нарушает общее состояние с изменениями окостенения скелета у детей, изменениями мышцы сердца и деятельности нервной системы.

Недостаток фтора в рационе способствует развитию *кариеса зубов* - широко распространенного заболевания, основной причины потери зубов в юношеском и зрелом возрасте. Причин кариеса зубов много - недостаток кальция в пище, снижение иммунного статуса организма, плохой уход за зубами и пр. Однако кариес зубов значительно учащается у населения, потребляющего воду с низкой концентрацией фтора.

Кроме влияния на развитие и функцию зубочелюстной системы, очень важна роль фтора в регуляции минерального обмена костей; в раннем возрасте он способствует минерализации костей, а в пожилом возрасте уменьшает возрастную деминерализацию костной ткани.

Несмотря на присутствие фтора в некоторых продуктах питания (чай, морепродукты), основное его количество, необходимое для жизнедеятельности организма, поступает с питьевой водой. В этом отличие фтора от остальных приблизительно двух десятков эссенциальных (необходимых) для организма человека микроэлементов. Большая пораженность населения кариесом зубов наблюдается при содержании фтор-иона в питьевой воде ниже 0,5 мг/л и уменьшается по мере возрастания концентрации до 1 мг/л. При возрастании концентрации до 1,5-2 мг/л появляется крапчатость эмали зубов (первый признак флюороза) у 15-20% населения. У людей, потребляющих воду с концентрацией фтора более 3-6 мг/л, отмечается не только поражение зубов, но и деформирующие формы флюороза скелета. Содержание фтора в питьевой воде на уровне 1 мг/л считают безопасным (оптимальная концентрация) и достаточным для противокариозного эффекта. Таким образом, диапазон биологически значимых доз фтора весьма узкий.

Биологическая активность фтора зависит не только от его концентрации в воде, но и от его формы. Наибольшей активностью обладает фтор-ион, фтор комплексных соединений малодоступен для организма. Это обстоятельство учитывают при гигиенической оценке питьевой воды и принимают во внимание при лабораторном контроле качества питьевой воды.

Повышенная распространенность кариеса у населения, потребляющего воду с низким содержанием фтора, привела к массовой профилактике кариеса путем фторирования питьевой воды. Вопрос о фторировании питьевой воды должен решаться с учетом содержания фтора в атмосферном воздухе, пищевом рационе населения и обязательно с учетом пораженности детей кариесом зубов.

С 70-х годов прошлого века на страницах специальных журналов ведется дискуссия о возможном влиянии фтора питьевой воды на онкологическую заболеваемость. Поводом послужили данные о повышенной онкологической заболеваемости у рабочих, имеющих производственный контакт с фтором (горнодобывающая промышленность, производство алюминия), а также экспериментальные данные о канцерогенной активности фторида и сульфата бериллия. Во всех случаях фтор поступал в организм ингаляционным путем.

Прямые исследования влияния фтора воды на онкологическую заболеваемость населения не дали окончательного ответа. Это позволило экспертам МАИР сделать вывод, что полученные данные недостаточны для категорического заключения и необходимы дополнительные исследования по этому вопросу.

Массовое обследование источников водоснабжения России в 50- 60-х годах позволило сделать вывод, что в 97% поверхностных и 68% подземных источников природное содержание фтор-иона не превышает 0,5 мг/л, а содержание фтор-иона более 1,5 мг/л наблюдается в 13% подземных источников. В настоящее время в связи с широким применением минеральных удобрений (суперфосфат), содержащих значительные примеси фторидов, концентрации фториона в поверхностных источниках возросли. Возможно локальное повышение концентрации фтор-иона в источниках, загрязненных сточными водами алюминиевых, суперфосфатных и криолитовых заводов. Большое количество фтора поступает в организм людей, проживающих в зоне влияния этих предприятий, и с атмосферным воздухом. При оценке обеспеченности организма фтором следует учитывать дополнительное его поступление с фторсодержащими зубными пастами.

Далее будет дана гигиеническая характеристика неорганических веществ техногенного происхождения, ставших, к сожалению, универсальными загрязняющими компонентами природных вод (кадмий, никель, ртуть, хром).

Кадмий - высокотоксичный элемент. В природных средах встречается, как правило, в невысоких концентрациях, не дающих биологических эффектов. В нормальных геохимических условиях содержание кадмия в природных водах не превышает 0,05 - 1 мкг/л, хотя в техногенных кадмиевых геохимических провинциях достигает 10 мкг/л. Источником более высоких концентраций (несколько десятков микрограммов на 1 л) кадмия в воде водных объектов служат неочищенные стоки промышленных предприятий. За рубежом применение металлических труб и резервуаров с гальваническим покрытием и некачественных пластмассовых труб для подачи и хранения воды в ряде случаев сопровождалось повышением уровня кадмия в воде до 0,2-4 мг/л (ПДК кадмия в воде 0,001 мг/л). В водоемах кадмий сорбируется взвешенными частицами и с ними оседает на дно. При повышении pH воды кадмий снова переходит в воду.

Опасность загрязнения окружающей среды и пищевых продуктов кадмием возникла лишь с конца XIX века, когда началась техногенная концентрация кадмия в природной среде обитания человека, особенно проявившаяся во второй половине XX века в связи с развитием электронной промышленности и производства люминофоров. Кадмий используется в атомной и ракетной технике, производстве щелочных аккумуляторов, входит в состав полимеров (в качестве стабилизатора), специальных сплавов и антикоррозийных покрытий, используемых в пищевой промышленности и водопроводной практике.

Токсичность низких доз кадмия, поступающих с водой (десятки микрограммов в 1 л), проявляется в тяжелом поражении почек и связанной с этим гипертонической болезни. Имеются указания на гонадотоксическое действие кадмия. Доказательства того, что кадмий может оказывать канцерогенное влияние на организм человека, малоубедительны.

Никель. В природных водах никель содержится в концентрациях порядка сотых и тысячных долей миллиграмма на 1 л, повышаясь в районах месторождения никелевых руд до единиц миллиграммов на 1 л. Возможно поступление никеля со сточными водами металлообрабатывающей и химической промышленности, концентрация никеля в которых составляет 0,01-274 мг/л. Сернокислый, хлористый и азотнокислый никель хорошо растворяется в воде. В программе глобального экологического мониторинга, принятой ООН в 1980 г., никель упомянут как одно из наиболее опасных загрязняющих веществ окружающей среды. В последнюю четверть XX века резко возрос выброс никеля в атмосферу, связанный в основном со сжиганием каменного угля. На протяжении года в биологическую миграцию вовлекаются сотни тысяч тонн никеля. Это приводит к

повышению его концентрации в воде источников водоснабжения, что требует контроля его содержания в питьевой воде.

Жизненная необходимость (эссенциальность) никеля была показана в 70-х годах, хотя никельдефицитные патологические состояния у человека не описаны. При избыточном поступлении никеля в организм поражаются тонкие биохимические процессы на клеточном и субклеточном уровнях. При длительном контакте с аэрозолями никеля у рабочих развивается рак легкого и желудка; при поступлении никеля через желудочно-кишечный тракт канцерогенный эффект не описан.

Ртуть широко распространена во всех элементах окружающей среды из-за высокой летучести ее паров, но гигиеническое значение имеют локальные очаги антропогенного загрязнения, к сожалению, часто встречающиеся как на урбанизированных территориях, так и в сельской местности.

Источники антропогенного загрязнения окружающей среды ртутью - ТЭЦ, заводы цветной металлургии, целлюлозобумажные, цементные предприятия. Имеет значение поступление ртути в связи с применением ртутьсодержащих сельскохозяйственных фунгицидов. Из атмосферного воздуха пары и аэрозоли соединений ртути попадают в водные объекты в результате седиментации и с осадками. В незагрязненных водных объектах концентрация ртути колеблется от 0,01 до 0,5 мкг/л, в реках, загрязненных сточными водами, она может составлять сотни и тысячи микрограммов в 1 л.

В обычных условиях с питьевой водой поступает не более 15% поглощенной организмом ртути. Ртуть не выполняет никакой физиологической функции в организме человека, она высокотоксична и кумулятивна. В основе патогенеза хронической интоксикации малыми дозами ртути лежат ее высокое сродство с сульфгидрильными группами многих ферментов, а также нарушения клеточных мембран. Эти нарушения универсальных биохимических механизмов и структур находят выражение в тех или иных синдромах, зависящих от индивидуальных особенностей организма.

Неорганическая ртуть в природных водах способна к метилированию. Патогенез и клинические проявления интоксикации органическими соединениями ртути принципиально отличаются от интоксикации неорганической ртутью. Неорганические соединения ртути вызывают поражения почек и печени, органические соединения нейротоксичны и эмбриотоксичны. Гигиенические нормативы для неорганической ртути и ее алкилпроизводных различны, что необходимо учитывать при лабораторном контроле качества воды. Считается, что в источнике водоснабжения, загрязненном неорганическими соединениями ртути, метилированная в результате естественных процессов (более токсичная) ртуть составляет 0,1% валового загрязнения. Из этого следует, что вода, содержащая неорганическую ртуть на уровне гигиенического норматива, безопасна и в отношении алкилртути.

Неорганические соединения ртути задерживаются при коагуляции и отстаивании на сооружениях водопровода. По данным литературы, питьевая вода, подготовленная традиционными методами из воды источника с высоким содержанием ртути, содержала неопасные для здоровья человека концентрации этого металла.

Хром широко распространен во всех элементах окружающей среды, но из-за малой растворимости его концентрации в природной воде не достигают гигиенически значимых величин.

В результате загрязнения промышленными выбросами (сточные воды, твердые отходы) часто обнаруживаются локальные очаги повышенных концентраций хрома в почве и водных объектах. Как поверхностные, так и подземные водные объекты могут загрязняться непосредственно (поступление сточных вод) и в результате миграции из мест захоронения твердых отходов. Основными источниками загрязнения окружающей среды хромом являются гальваническое и кожевенное производство, текстильная промышленность и производство специальных сплавов.

В природных соединениях хром, как правило, трехвалентный, а отходы промышленности содержат шестивалентный хром. Соединения трехвалентного хрома малорастворимы и плохо всасываются в желудочно-кишечном тракте. Считается, что токсические свойства присущи шестивалентному хрому. Хром необходим для организма, но механизм физиологического действия не раскрыт. Неблагоприятные эффекты хрома заключаются в поражении почек и печени. Хром способствует возникновению язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Известен аллергизирующий эффект хрома, связанный с его высокой способностью к комплексообразованию (хромовый дерматит). Доказаны канцерогенный и мутагенный эффекты хрома.

Цианиды. Под цианидами понимают неорганические соединения с ионом CN^-; органические соединения с циан-ионом носят название нитрилов. Цианиды являются промежуточными продуктами метаболизма организма животных и человека.

Техногенными источниками поступления цианидов в окружающую среду являются производство полимеров, кокса, процессы извлечения благородных металлов, гальванопластика, ряд технологий органического синтеза.

Циан-ион обладает выраженной реакционной способностью, в результате чего его высокие, токсичные концентрации в воде источников водоснабжения крайне редки и связаны с аварийными ситуациями на промышленных предприятиях. При хлорировании питьевой воды в условиях нейтральной активной реакции и в присутствии свободного хлора концентрации цианидов снижаются до очень малых значений

Из стандарта США 1977 г. норматив цианидов исключен как практически нецелесообразный из-за их низкого содержания в питьевой воде.

Органические вещества. В воде источников водоснабжения обнаружено несколько тысяч органических веществ самых разных химических классов и групп. Органические соединения природного происхождения - гуминовые вещества, различные амины и др. способны изменять органолептические свойства воды. По этой причине мала вероятность проявления их токсических свойств в питьевой воде централизованных систем питьевого водоснабжения, к тому же они успешно удаляются в процессе водоподготовки.

Несомненно, что органические вещества техногенного происхождения при поступлении в организм с питьевой водой могут неблагоприятно влиять на здоровье. Аналитический контроль их содержания в питьевой воде затруднен не только ввиду их громадного числа, но и вследствие того, что многие из них весьма неустойчивы и в воде происходит их непрерывная трансформация. При аналитическом контроле нереально ставить целью идентификацию всех органических соединений, присутствующих в питьевой воде. К счастью, многие органические вещества обладают выраженными органолептическими свойствами (запах, вкус, цвет, способность к пенообразованию), что и служит основой ограничения их содержания в питьевой воде. Примерами таких веществ являются синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), в незначительных, нетоксических концентрациях образующие пену, фенолы, придающие воде специфический запах, многие фосфорорганические соединения.

Содержание органических веществ ограничивается и через соблюдение нормативов в воде источника водоснабжения по показателям БПК и ХПК.

БПК и ХПК - принятые в гигиене, гидрохимии и экологии интегральные показатели, характеризующие содержание в воде нестабильных (неконсервативных) органических веществ, трансформирующихся в водной среде путем гидролиза, химического и биохимического окисления и других процессов.

С помощью этих показателей содержание органических веществ выражается косвенно, через количество кислорода, потребное для их биохимического (БПК) или бихроматного (ХПК) окисления.

Прямой аналитический контроль органических веществ в воде должен быть направлен на определение достаточно стабильных (консервативных) веществ, не обладающих выраженными органолептическими свойствами, но представляющих

высокую опасность для здоровья из-за выраженной токсичности, кумулятивности или способности давать отдаленные эффекты, неблагоприятные для здоровья индивидуума или последующих поколений (мутагенные - изменяющие наследственные структуры, канцерогенные, эмбриотоксические, гонадотоксические). Среди таких соединений большое гигиеническое значение имеют сельскохозяйственные пестициды, ароматические полициклические углеводороды, галогенсодержащие соединения. Последнее время в литературе широко обсуждается гигиеническое значение диоксинов, дибензофуранов и бифенилов - техногенных высокостабильных продуктов, получивших широкое распространение в окружающей среде.

Сельскохозяйственные пестициды имеют высокую биологическую активность. По химической природе они весьма разнообразны; наиболее часто среди них встречаются хлорорганические и фосфорорганические соединения, карбаматы.

Хлорорганические пестициды первых поколений отличались крайне высокой стабильностью и способностью к биоаккумуляции и продолжают циркулировать в природной среде. Несмотря на запрещение применения ДДТ в середине 60-х годов, до сих пор его находят в тюленьем жире в Арктике и Антарктике, а также в молоке кормящих женщин, не имевших производственного контакта с пестицидом. Такой же стабильностью обладает и гексахлорциклогексан, действующее начало широко известного инсектицида линдана.

Менее стабильны в водной среде фосфорорганические пестициды, но в связи с большими дозами их применения, а также с широким ассортиментом соединений возможность загрязнения ими источников водоснабжения весьма высока.

Неблагоприятные эффекты, связанные с постоянным поступлением с питьевой водой малых доз пестицидов, могут быть различными, но все они, как правило, связаны с нарушением тех или иных ферментных систем; вследствие нарушения ферментных систем в дальнейшем могут развиваться различные болезни обмена веществ, расстройства иммунной системы. Особенно опасен длительный контакт с пестицидами беременных и детей. Среди населения, подвергавшегося воздействию пестицидов через питьевую воду, было больше случаев вирусного гепатита, чем среди населения, потреблявшего воду из благополучного по химическому составу источника. Высокие концентрации пестицидов в воде источника водоснабжения способны влиять на микрофлору воды, изменять устойчивое соотношение патогенных и санитарно-показательных видов микрофлоры. Это обстоятельство необходимо учитывать при трактовке результатов бактериологического анализа и оценке санитарных ситуаций.

Еще одна сторона неблагоприятного влияния пестицидов на здоровье - способность многих из них (амины, амиды) к нитрозированию. В связи с высокими дозами азотных удобрений при интенсивных агротехнологиях возникает реальная опасность загрязнения источников водоснабжения нитрозосоединениями, о канцерогенной опасности которых говорилось выше.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). ПАУ представляют собой большую группу органических соединений, в молекуле которых присутствуют два бензольных кольца или более; кроме того, в составе молекулы ПАУ могут быть и неароматические кольца. ПАУ могут синтезироваться некоторыми бактериями, водорослями и высшими растениями, но гигиенически значимые количества ПАУ поступают в окружающую среду как продукты неполного сгорания органического топлива, побочные и промежуточные продукты органического синтеза. Многочисленные источники ПАУ, связанные с химическим производством и различными процессами сжигания, привели к загрязнению ими всех объектов окружающей среды. ПАУ малорастворимы в воде, но обладают высокой способностью к сорбции на глинах и других донных осадках, что ведет к появлению в водной среде более высоких концентраций, чем те, которые возможны на основании представления о растворимости. При воздействии солнечного света ПАУ подвергаются фотолизу в водной среде.

Сведения о хронической токсичности ПАУ немногочисленны. Они могут вызывать различные поражения кожи и сальных желез, поражения костного мозга, лимфатической системы.

Среди ПАУ встречаются соединения с канцерогенными свойствами; потенциально опасны для человека в этом отношении 14 ПАУ.

Наиболее сильным и относительно стабильным канцерогеном является бенз(а)пирен.

Бенз(а)пирен широко известен как безусловный канцероген для человека, наиболее сильный, чем другие канцерогенные ПАУ. Канцерогенная опасность для человека воды, загрязненной бенз(а)пиреном, невелика. При его присутствии в неочищенной воде умеренно загрязненных источников водоснабжения в промышленных областях доза потребления человеком с питьевой водой по крайней мере на 3 порядка меньше, чем поступающая с обычным пищевым рационом. Однако бенз(а)пирен считается признанным индикатором присутствия в воде других ПАУ, и с этой позиции представляется целесообразным включение его в программу контроля качества воды водных объектов при выборе источников питьевого водоснабжения. По данным Н.Я. Янышевой и соавт. (1985), канцерогенная активность реальных сочетаний ПАУ на 68-79% обусловлена бенз(а)пиреном.

Большую опасность для здоровья представляют *полихлорированные ПАУ* - ПХДД, ПХДФ и *бифенилы* (ПХБФ). Эти вещества высокостабильны в природной среде и чрезвычайно токсичны. Расчетные среднесмертельные дозы диоксинов для человека измеряются сотыми долями миллиграмма на 1 кг массы. При длительном воздействии крайне низкие дозы способны давать канцерогенный, тератогенный, гонадотоксический и иммуносупрессивный эффекты.

Эти соединения поступают в водные объекты со сточными водами производств хлорфенолов и их производных. ПХБФ используют как добавки к трансформаторным маслам для снижения пожароопасности. Они широко применялись и в других отраслях: как растворители для красок и чернил, в производстве пластмасс. Возможно поступление полихлорированных ПАУ в грунтовые и межпластовые воды в результате миграции в грунтах на полигонах захоронения промышленных отходов. Высокая стабильность этих соединений (период полураспада от 1 до 10 лет в зависимости от местных условий) приводит к их накоплению в объектах окружающей среды даже при поступлении небольших количеств. ПХДД и ПХДФ обнаруживаются в атмосферном воздухе и почве промышленных городов и их пригородов. Публикации о присутствии этих веществ в воде источников единичны, но в донных отложениях различных водных объектов они обнаруживаются часто.

В организм человека ПХДД и ПХДФ поступают в основном с продуктами питания и витающей в атмосферном воздухе пылью. Однако в связи с накоплением в объектах окружающей среды в перспективе возможно их появление в воде источников водоснабжения в биологически значимых концентрациях.

Галогенсодержащие соединения. В питьевой воде городов некоторых стран обнаруживаются так называемые галогенсодержащие соединения (ГСС). Среди них особенно актуальны тригалометаны. Появление таких веществ в воде объясняется загрязнением источников водоснабжения промышленными сточными водами некоторых производств. Однако основная причина появления таких веществ в питьевой воде оказалась связанной с процессами обеззараживания питьевой воды и прежде всего с ее хлорированием. В процессе хлорирования воды образуются сотни ГСС, качественный и количественный состав которых зависит от исходного содержания в воде предшественников - гуминовых кислот и фульвокислот, хинонов, фенолов и др.

Данные о максимальных концентрациях ГСС в воде, частоте их обнаружения в питьевой воде и воде источников, бластомогенной и мутагенной активности и др. позволили выделить ГСС, наиболее значимые с гигиенических позиций. Это хлороформ,

четыреххлористый углерод, дихлорбромметан, тетрахлорэтилен, бромоформ, дихлорметан, дибромхлорметан, трихлорэтилен, 1,1-дихлорэтилен.

ГСС обладают высокой биологической активностью и вызывают отдаленные последствия - развитие злокачественных опухолей, генетические болезни и т.п. В эпидемиологических наблюдениях за состоянием здоровья потребителей водопроводной воды, содержащей ГСС, выявлена повышенная заболеваемость опухолями желудочнокишечного тракта и мочевого пузыря. Однако это трудно отнести лишь на счет ГСС, так как в воде присутствовали и другие вещества, известные как канцерогены. Кроме того, обследованное население находилось под влиянием и загрязненного канцерогенами атмосферного воздуха.

В экспериментальных отечественных и зарубежных исследованиях на животных канцерогенный эффект отмечался лишь при дозах ГСС, в десятки и сотни тысяч раз превышавших концентрации, которые реально обнаруживаются в питьевой воде. В подобной ситуации нельзя сделать окончательный вывод об опасности присутствия ГСС в питьевой воде. Однако следует прислушаться к мнению некоторых ученых, что длительное действие даже следовых количеств канцерогенов в питьевой воде может усилить все неблагоприятные для здоровья эффекты этих соединений.

СПАВ получили широкое распространение как в быту, так и в промышленности. Большие количества СПАВ сбрасываются со сточными водами по завершении технологического процесса. Несмотря на гигиенические и экологические требования при их синтезе об отборе для производства только способных к биоразложению (так называемые мягкие СПАВ), сточные воды и после очистки содержат значительные количества этих соединений. Поверхностные источники водоснабжения повсеместно загрязнены ими. Поверхностная активность позволяет этим соединениям мигрировать через водоупорные горные породы, что приводит к загрязнению подземных горизонтов, считающихся надежно защищенными.

Сами по себе малотоксичные СПАВ при поступлении в организм способствуют проникновению через биологические мембраны либо высокотоксичных (металлоорганические соединения), либо канцерогенных (ПАУ, производные бензола) малорастворимых соединений. Однако ведущий признак неблагоприятного действия СПАВ на питьевую воду - изменение органолептических свойств, в первую очередь пенообразование и привкус. Присутствие СПАВ в воде приводит к интенсивному развитию микрофлоры, что нарушает санитарный режим водного объекта.

Радиоактивные вещества являются особым видом химического загрязнения питьевой воды. Хотя влияние природных радионуклидов в питьевой воде на коллективную дозу облучения населения очень мало, локально не исключены случаи и значительного облучения от радона (одного из газообразных продуктов распада урана), содержащегося в некоторых месторождениях пресных подземных вод.

Количество радионуклидов техногенного происхождения в питьевой воде обычно весьма ограничено благодаря постоянному надзору за технологическими циклами и источниками радионуклидов. Однако опасность ядерной промышленности заключается не только в авариях и катастрофах. Даже без них около 250 радионуклидов проникают в окружающую среду в результате работы ядерных установок. Эти радиоактивные частицы вместе с водой, пылью, пищей и воздухом попадают в организмы животных, людей, вызывая раковые заболевания, врожденные дефекты развития, снижение функции иммунной системы, и увеличивают общую заболеваемость населения. Широкое использование расщепляющихся материалов в различных отраслях современного производства не позволяет уповать только на контроль радиоактивного загрязнения на самом производстве; необходим радиационный контроль и за водой источника питьевого водоснабжения.

Вещества и организмы, неблагоприятно влияющие на органолептические свойства воды источника водоснабжения и питьевой воды

Соединения ряда элементов, присутствующих в природных водах (железо, марганец, медь, цинк), влияют на органолептические свойства воды.

Железо в природных водах встречается, как правило, в регионах месторождений и чаще присутствует в форме гидрокарбоната или сульфида железа (II). В подземных водах железо часто встречается в различных соотношениях с марганцем.

В воде поверхностных источников водоснабжения железо может содержаться в концентрациях до 8-10 мг/л, как правило, в виде комплексов с гуминовыми соединениями. В питьевую воду железо может поступать, кроме того, при использовании железосодержащих коагулянтов, а также в результате коррозии труб системы распределения воды.

В организме железо активно участвует в окислительно-восстановительных процессах, иммунобиологических реакциях, входя в состав ряда ферментов. У взрослого человека 60-70% железа входит в состав гемоглобина. Механизм регуляции баланса железа в реальных условиях не позволяет проявиться его токсическим свойствам. Однако повышенное содержание железа в питьевой воде нежелательно по ряду причин, не связанных напрямую со здоровьем. Такая вода неприятна на вкус, имеет бурый цвет, образует конкреции в трубах, затрудняющие ток и повреждающие водопроводную арматуру. Эти обрастания вторично ухудшают органолептические свойства воды из-за слизеобразования, присущего железобактериям. Последнее обстоятельство создает условия для реактивации болезнетворных бактерий, развитие которых подавлено при обеззараживании воды. На коммунальных питьевых водопроводах небольших поселений приходится мириться с повышенным содержанием в воде железа и марганца, несмотря на бытовые неудобства для водопотребителей. Это связано с тем, что после установок по обезжелезиванию необходимо введение обеззараживания воды, которое не нужно, как правило, при эксплуатации межпластовых, защищенных от микробного загрязнения вод, подаваемых потребителям без обработки. Введение при обезжелезивании воды двух установок для ее обработки резко снижает санитарную надежность водопровода.

Марганец. Содержание марганца в подземных водах, не связанных с месторождениями, достигает 0,7 мг/л, в связанных с месторождениями - 300 мг/л и выше. В поверхностных водах возможны концентрации марганца до 8 мг/л, чаще всего в результате поступления с производственными сточными водами.

Биологи относят марганец к эссенциальным микроэлементам, поскольку он входит в состав многих ферментов, гормонов и витаминов, влияющих на процессы роста, размножения, кроветворения и иммунитета. Всасывание марганца, поступающего в организм с питьевой водой, незначительно вследствие гидролиза катионов марганца и образования малорастворимых солей. По данным ВОЗ, содержание марганца в питьевой воде до 0,5 мг/л не приводит к нарушению здоровья человека. Однако присутствие марганца в таких концентрациях может быть неприемлемым для водопотребителей, поскольку вода приобретает металлический привкус и окрашивает ткани при стирке.

Медь. Медь и ее соединения широко распространены в окружающей среде и поэтому часто обнаруживаются в природных водах. Концентрации меди в природных водах обычно составляют десятые доли миллиграмма в 1 л, в питьевой воде могут увеличиваться в результате вымывания из материалов труб и арматуры. Химические свойства меди в воде зависят от pH воды, концентрации в ней карбонатов, хлоридов и сульфатов.

Медь является необходимым элементом в метаболизме человека, участвует в образовании эритроцитов, высвобождении тканевого железа и в развитии скелета, центральной нервной системы и соединительной ткани. Проявления хронического токсического действия соединений меди, поступающих с питьевой водой, маловероятны из-за гомеостатического механизма ее регулирования, а также рвотного действия при высоких концентрациях.

Соединения меди в низких концентрациях придают воде неприятный вяжущий привкус, что и лимитирует содержание меди в питьевой воде. Это обстоятельство необходимо учитывать в технологии производства напитков, а также при выборе источника водоснабжения для производства бутилированной питьевой воды.

Цинк. Содержание цинка в поверхностных и грунтовых водах обычно не превышает 0,01 и 0,05 мг/л соответственно, но его концентрация в водопроводной воде может достигать 2 мг/л из-за вымывания цинка из водопроводных труб.

Цинк является незаменимым микроэлементом, поскольку входит в состав жизненно необходимых ферментов и витаминов. Накопления цинка в организме в обычных условиях не наблюдается. Вода с содержанием цинка более 5 мг/л имеет вяжущий привкус.