

Бактериальное содержание

Наибольший риск, связанный с бактериальным содержанием воды, возникает при потреблении питьевой воды, загрязненной человеческими и животными экскрементами, хотя другие источники и пути проникновения бактериальных загрязнений могут также иметь существенное значение.

В настоящей главе рассматриваются микроорганизмы, в отношении которых, на основании изучения вспышек заболеваний или на основании проспективных исследований, не связанных со вспышками, имеются данные о том, что они вызывают заболевания при потреблении питьевой воды, вдыхании водных аэрозолей или при контакте с питьевой водой. Также обсуждаются меры противодействия.

7.1 Бактериальные опасности, связанные с питьевой водой

Инфекционные болезни, вызываемые патогенными бактериями, вирусами и паразитами (например, протозойными и гельминтами) представляют собой наиболее общий и широко распространенный риск для здоровья, связанный с питьевой водой. Масштабы медико-санитарной проблемы определяются тяжестью заболеваний, обусловленных патогенами, их инфекционностью и числом людей, подвергшихся этой опасности.

Нарушение безопасности водоснабжения может привести к крупномасштабному загрязнению и, потенциально, к заметным вспышкам заболеваний. Другие нарушения и незначительное, потенциально не однократное загрязнение могут приводить к крупным спорадическим вспышкам заболеваний, однако эпиднадзор может и не связывать их с источниками питьевой воды.

Выявлению и регулированию рисков, в особенности связанных со спорадическими заболеваниями, может помочь количественная оценка риска.

7.1.1 Инфекции, передаваемые с водой

Загрязненная питьевая вода содержит различные патогенные организмы. В Таблице 7.1 и на Рисунке 7.1 приводятся общие сведения в отношении патогенов, характерных для питьевого водоснабжения. Картина меняется в зависимости от таких переменных как прирост числа людей и животных, усиление использования сточных вод, изменение образа жизни и санитарные меры перемещения населения, и отдельные проблемы, связанные с новыми патогенами и мутантами, или рекомбинациями существующих патогенов. Иммуитет людей также подвержен значительным изменениям, независимо от того, приобретает он в связи с контактом с патогеном или на него влияют такие факторы как возраст, пол, состояние здоровья и условия жизни.

Таблица 7.1 Патогены, переносимые водой, и их особенности в системах водоснабжения

Патоген	Опасность с медико-санитарной точки зрения	Выживаемость в системах водоснабжения ^a	Устойчивость к хлору ^b	Сравнительная инфекционность ^c	Важным источником являются животные
Бактерии					
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	Низкая	Может размножаться	Низкая	Низкая	Нет
<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>C. coli</i>	Высокая	Умеренная	Низкая	Умеренная	Да
<i>Escherichia coli</i> – Патогенна ^d	Высокая	Умеренная	Низкая	Низкая	Да
<i>E. coli</i> – Enterohaemorrhagic	Высокая	Умеренная	Низкая	Высокая	Да
<i>Legionella</i> spp.	Высокая	Размножается	Низкая	Умеренная	Нет
Нетуберкулезная микробактерия	Низкая	Размножается	Высокая	Низкая	Нет
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ^e	Умеренная	Может размножаться	Умеренная	Низкая	Нет
<i>Salmonella typhi</i>	Высокая	Умеренная	Низкая	Низкая	Нет
Другие сальмонеллы	Высокая	Может размножаться	Низкая	Низкая	Да
<i>Shigella</i> spp.	Высокая	Кратко-временная	Низкая	Умеренная	Нет
<i>Vibrio cholerae</i>	Высокая	Кратко-временная	Низкая	Низкая	Нет
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Высокая	Длительная	Низкая	Низкая	Да
Вирусы					
Аденовирусы	Высокая	Длительная	Умеренная	Высокая	Нет
Энтеровирусы	Высокая	Длительная	Умеренная	Высокая	Нет
Гепатит А	Высокая	Длительная	Умеренная	Высокая	Нет
Гепатит Е	Высокая	Длительная	Умеренная	Высокая	Потенциально
Норовирусы и Саповирусы	Высокая	Длительная	Умеренная	Высокая	Потенциально
Ротавирус	Высокая	Длительная	Умеренная	Высокая	Нет
Протозойные организмы					
<i>Acanthamoeba</i> spp.	Высокая	Длительная	Высокая	Высокая	Нет
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Высокая	Длительная	Высокая	Высокая	Да
<i>Cyclospora cayentanensis</i>	Высокая	Длительная	Высокая	Высокая	Нет
<i>Entamoeba histolytica</i>	Высокая	Умеренная	Высокая	Высокая	Нет
<i>Giardia intestinalis</i>	Высокая	Умеренная	Высокая	Высокая	Да
<i>Naegleria fowleri</i>	Высокая	Может размножаться ^f	Высокая	Высокая	Нет
<i>Toxoplasma gondii</i>	Высокая	Длительная	Высокая	Высокая	Да
Гельминты					
<i>Dracunculus medinensis</i>	Высокая	Умеренная	Умеренная	Высокая	Нет
<i>Schistosoma</i> spp.	Высокая	Кратковременная	Умеренная	Высокая	Да

Примечание: Перенос патогенов водой подтверждается эпидемиологическими исследованиями и конкретными случаями. Частичное подтверждение патогенности получают путем воспроизведения болезни у подходящего реципиента. Информация, получаемая в ходе экспериментальных исследований, в которых добровольцы подвергаются воздействию известного числа патогенов, является относительной. Поскольку большинство исследований проводятся со здоровыми взрослыми добровольцами, подобные данные относятся лишь к тем людям, которые были подвержены воздействию патогенов, а экстраполяцию на более чувствительные группы, можно делать лишь после более подробных исследований.

^a Период обнаружения инфективной фазы в воде при 20°C: короткий – до 1 недели; средний – от 1 недели до 1 месяца, продолжительный – более 1 месяца.

^b Когда патоген в инфективной фазе находится в свободно взвешенном состоянии в воде, обрабатываемой в обычных дозах, и при обычном контактном времени. Сопrotивляемость умеренная, патоген может быть разрушен не полностью.

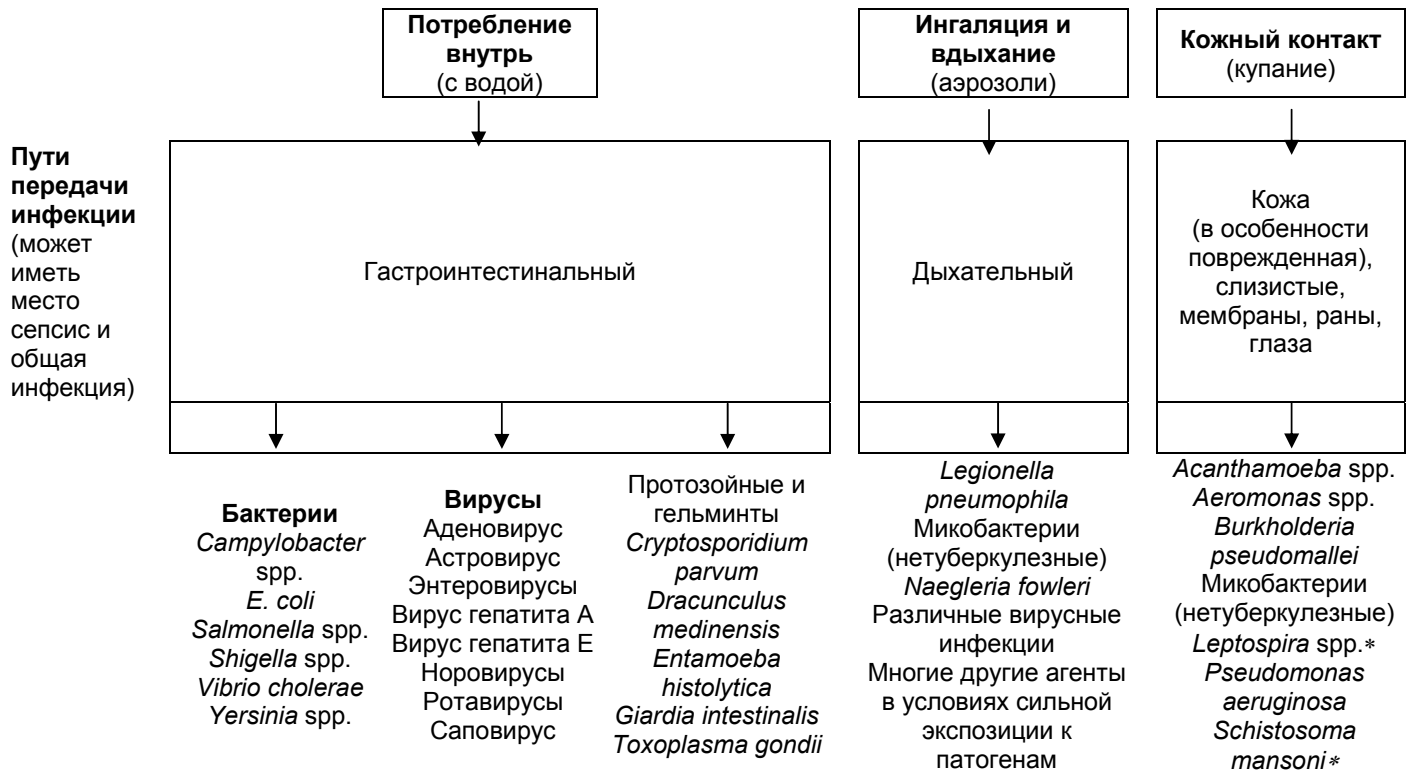
^c По экспериментам на добровольцах или по эпидемиологическим данным

^d Включает в себя энтеропатогенные, энтеротоксигенные и энтероинвазивные виды.

^e Основной путь передачи инфекции – кожный контакт, однако может инфицировать пероральным путем иммунодепрессивных лиц или онкопациентов.

^f В теплой воде.

Что касается патогенов, передаваемых фекально-оральным путем, единственным средством переноса патогенов является питьевая вода. Загрязненная пища, руки, посуда и одежда также могут играть роль, в особенности в неблагоприятной санитарно-гигиенической обстановке в местах проживания. Важными факторами противодействия фекально-оральному способу передачи болезни являются улучшение качества воды и ее доступности, улучшение удаления фекалий и в общем гигиеническом состоянии.



* Главным образом при контакте с сильно загрязненными поверхностными водами.

Рисунок 7.1 Пути передачи патогенов и примеры патогенов, переносимых водой

Безопасность питьевой воды обусловлена не только фекальным загрязнением. Некоторые организмы размножаются в трубопроводных системах распределения воды (например, *Legionella*), а другие встречаются в водоисточниках (например, ришта *Dracunculus medinensis*) и многие из них могут вызывать вспышки заболеваний и отдельные случаи. Для удаления некоторых других микробов (например, токсической цианобактерии) требуются особые методы, которые рассматриваются в других разделах настоящих рекомендаций (см. раздел 11.5).

Инфекционные заболевания, вызываемые патогенными бактериями, вирусами, протозойными и гельминтами, представляют собой наиболее общую и широко распространенную угрозу для здоровья, связанную с питьевой водой.

Некоторые серьезные заболевания могут возникнуть в результате вдыхания мелких капель воды (аэрозолей), в которых причинные организмы размножаются вследствие благоприятной температуры и наличия питательных веществ. К таким болезням относятся легионеллез и болезнь Легионеров, вызываемые *Legionella* spp., а также болезни, вызываемые амобой *Naegleria fowleri* (первичный амебный менингоэнцефалит, а также микроорганизмом *Acanthamoeba* spp. (амебный менингит, легочные инфекции).

Шистосомоз (бильгарциоз) является основным паразитарным заболеванием тропических и субтропических регионов, которое передается в тех случаях, когда личинки, выделяемые инфицированными улитками, проникают под кожу. Заболевание главным образом передается при контакте с водой. Свободное наличие безопасной питьевой воды способствует профилактике этой болезни путем снижения необходимостей

контакта с зараженными водоисточниками, например при сборе воды для домашних нужд или при использовании воды для купания или стирки.

Вне всяких сомнений небезопасная питьевая вода, загрязненная почвой или фекалиями, может переносить другие паразитарные инфекции, такие как балантидиаз (*Balantidium coli*), а также некоторые гельминтозные инфекции (виды *Fasciola*, *Fasciolopsis*, *Echinococcus*, *Spirometra*, *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*, *Necator*, *Ancylostoma*, *Strongyloides* и *Taenia solium*). Однако в большинстве из указанных случаев передача инфекции обычно происходит тогда, когда при приеме пищи, загрязненной фекалиями или почвой, содержащей фекалии, в организм попадают яйца паразитов (как в случае *Taenia solium*, когда при употреблении в пищу сырой свинины в организм попадают личинки пузырьчатого глиста), а не при употреблении загрязненной питьевой воды.

Другие патогены, которые естественным образом могут присутствовать в окружающей среде, могут вызывать заболевания у тех лиц, у которых нарушены местные или общие иммунозащитные механизмы, например у пожилых или очень молодых людей, у пациентов с ожогами или обширными ранениями, у тех, кто проходит иммунодепрессивную терапию или у лиц с синдромом приобретенного иммунодефицита (СПИД). Если вода, употребляемая такими лицами для питья или используемая для купания, содержит в достаточном количестве вышеназванные организмы, они могут вызывать инфицирование кожи, слизистых мембран глаз, уха, носа и горла. К таким организмам относятся *Pseudomonas aeruginosa* и виды *Flavobacterium*, *Acinetobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Aeromonas* и некоторые «медленно размножающиеся» (нетуберкулезные) микобактерии (см. вспомогательный документ *Pathogenic Mycobacteria in Water*, раздел 1.3).

Большинство из патогенных для человека организмов, приведенных в Таблице 7.1 (которые более подробно описаны в Главе 11), распространены во всем мире. Однако некоторые организмы, например из числа тех, которые вызывают вспышки холеры или дракункулеза, приурочены к определенным регионам. Ликвидация *D.medinensis* является признанной целью Всемирной Ассамблеи Здравоохранения (1991 г.).

Весьма возможно, что имеются патогены, не указанные в Таблице 7.1 и которые также передаются с водой. Это объясняется тем, что количество известных патогенов, передаваемых с водой, продолжает возрастать по мере того как обнаруживаются новые или ранее неизвестные патогены (см. ВОЗ, 2003а).

7.1.2 Жизнеспособность и размножение в воде

Хотя типичные переносимые водой патогены проявляют жизнеспособность в питьевой воде, большинство из них размножаться или распространяться в воде не могут. Такие микроорганизмы как *E. coli* и *Campylobacter* могут накапливаться в осадках и высвобождаться при увеличении скорости течения воды.

Покинув организм хозяина, большинство патогенов постепенно теряют жизнеспособность и способность инфицировать. Темпы отмирания обычно экспоненциальны, и по истечении определенного периода патоген становится невыявляемым. Патогены с пониженной жизнеспособностью вынуждены незамедлительно находить нового хозяина и вероятность их распространения больше в случае контакта между людьми или при несоблюдении правил личной гигиены, чем в случае потребления питьевой воды. На жизнеспособность влияет ряд факторов, в числе которых наиболее важным является температура. При более высоких температурах разрушение патогена происходит быстрее, и ему может способствовать летальное воздействие ультрафиолетовой радиации в солнечном свете, который попадает в поверхностные воды.

К наиболее распространенным патогенам и паразитам, переносимым водой, относятся те, которые обладают значительной инфекционностью и либо могут размножаться в воде, либо обладают высокой резистентностью к распаду вне организма.

Вирусы и паразиты в стадии покоя (цисты, ооцисты, яйца) не могут размножаться в воде. В отличие от них, при сравнительно значительных количествах биodeградируемого органического углерода при теплых температурах и при низких остаточных концентрациях хлора может происходить размножение *Legionella*, *V. cholerae*, *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* и сорных организмов в некоторых видах поверхностных вод и в процессе водораспределения (см. также вспомогательный документ *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety*; раздел 1.3).

Качество воды с точки зрения бактериального содержания может изменяться быстро и в широких пределах. Кратковременные пиковые значения концентрации патогенов могут значительно увеличивать риск заболеваний и могут также инициировать вспышки болезней, переносимых водой. Результаты тестирования качества воды на бактериальное содержание обычно поступают несвоевременно, что не позволяет предпринять действия и предотвратить распределение небезопасной воды.

7.1.3 Медико-санитарные аспекты

Вспышки заболеваний, переносимых водой, могут затронуть большое количество лиц, поэтому при разработке и применении контрольных мер, направленных на обеспечение качества питьевой воды, в первую очередь необходимо предусматривать меры борьбы против подобных вспышек. Кроме того, есть основания полагать, что питьевая вода может играть роль в поддержании фоновых значений заболеваемости при отсутствии вспышек, поэтому меры по обеспечению качества питьевой воды должны также учитывать заболевания болезнями, переносимыми водой, у населения в целом.

Опыт показал, что системы выявления вспышек заболеваний, переносимых водой, обычно неэффективны, независимо от уровня социально-экономического развития стран, и что отсутствие выявленных вспышек не является гарантией того, что они не происходят; это также не дает основания считать, что питьевую воду поэтому можно считать безопасной.

Некоторые патогены, о которых известно, что они передаются через загрязненную питьевую воду, приводят к тяжелым и нередко угрожающим жизни заболеваниям. К примерам относятся тиф, холера, инфекционный гепатит (вызываемый вирусом гепатита А или гепатита Е), а также заболевания, вызываемые *Shigella* spp. и *E. coli* O157. Другие патогены обычно не вызывают тяжелого исхода, к ним относятся самоизлечивающаяся диарейная болезнь (например, Норовирус, *Cryptosporidium*).

На разных людей патогены оказывают различное воздействие и, вследствие этого, различные воздействия на различные группы населения. Неоднократная экспозиция к патогену может обуславливать меньшую вероятность или тяжесть заболевания вследствие приобретенного иммунитета. Для некоторых патогенов (например, вирус гепатита А) иммунитет пожизненный, а для других (например, *Campylobacter*) защитный эффект обеспечивается на период от нескольких месяцев до нескольких лет. С другой стороны чувствительные подгруппы населения (например, молодые люди, пожилые, беременные женщины и лица с нарушенным иммунитетом) могут быть подвержены большей вероятности заболевания, или заболевание может оказаться более тяжелым и, в том числе летальным. Не все патогены оказывают более сильное воздействие на все чувствительные подгруппы.

Не у всех инфицированных лиц возникнет симптоматическое заболевание. Доля инфицированных лиц в асимптоматическом состоянии (включая переносчиков) для различных патогенов различна и зависит также от характерных особенностей населения, таких как наличие иммунитета. Переносчики, а также лица с асимптоматическими инфекциями и те, кто имеют симптомы, могут также способствовать вторичному распространению патогенов.

7.2 Установление санитарно-гигиенических показателей

7.2.1 Санитарно-гигиенические показатели, учитывающие бактериальную опасность

Общие подходы к установлению санитарно-гигиенических показателей излагаются в разделе 2.1.1 и в главе 3.

Источниками информации в отношении медико-санитарных рисков могут быть исследования в области эпидемиологии и оценки риска. Оба типа исследования обычно используются в качестве дополнительных.

Санитарно-гигиенические показатели могут также устанавливаться на основе медико-санитарных результатов, когда бремя заболеваемости болезнями, переносимыми водой, предполагается в такой степени значительным, что при этом появляется возможность измерять степень результативности осуществляемых мер – а именно, измерить степень снижения заболеваемости, которая может быть связана с питьевой водой.

Оценка риска имеет особое значение в тех случаях, когда та часть заболеваемости, которая может быть вызвана питьевой водой, незначительна или с трудом поддается непосредственному измерению средствами эпиднадзора или аналитических эпидемиологических исследований.

Данные, как эпидемиологических исследований, так и исследований по оценке риска, которые позволяют разработать санитарно-гигиенические показатели в отношении многих патогенов, ограничены, но их поступает все больше и больше. Данные, получаемые для местных условий, всегда имеют огромное значение при установлении национальных критериев.

В отношении контрольных мер против бактериальных рисков наиболее частой формой применяемых санитарно-гигиенических показателей являются показатели эффективности (см. раздел 3.2.2), которые обусловлены допустимым бременем заболеваемости. Показатели качества воды (см. раздел 3.2.3) по патогенам обычно не разрабатываются, поскольку контроль очищенной воды на патогены считается нецелесообразным или неэкономичным.

7.2.2 Оценка риска

Во многих случаях для оценки результатов улучшения качества питьевой воды с точки зрения риска для здоровья населения возможна посредством построения и применения моделей оценки риска.

Метод количественной оценки бактериального риска является быстро развивающейся дисциплиной, в которой системным образом объединяется имеющаяся информация в отношении экспозиции и дозозависимой реакции для получения расчетного бремени заболеваний, связанных с экспозицией к патогенам. Для оценки воздействия малых доз патогенов, находящихся в питьевой воде, на население и отдельные группы, используется математическое моделирование.

Интерпретация и применение информации, получаемой на основе аналитических эпидемиологических исследований для разработки медико-санитарных показателей для применения на национальном или местном уровне, требует учета ряда факторов, включая нижеследующие:

- Следует ли представить конкретные показатели уменьшения заболеваемости или индикативные пределы ожидаемого уменьшения?
- Насколько репрезентативным в отношении целевого населения было исследование, что позволило бы укрепить уверенность в надежности результатов, применяемых по отношению к более широким группам?
- В какой степени незначительные различия в демографических или социально-экономических условиях отразятся на результатах?

Оценка риска начинается с постановки проблемы, позволяющей выявить все возможные опасности и их прохождение от источников до получателей. Воздействие

патогенов на человека (концентрация их в окружающей среде и объемы, поступающие в организм) и реакция отдельных организмов на определенную дозу патогенов совместно характеризуют риск. Вводя дополнительную информацию (социального, культурного, политического, экономического, экологического характера и т.п.), можно определить приоритетность действий. Для привлечения поддержки участия других сторон, важную роль играет открытость процедуры и активная информированность сторон в отношении риска на каждой стадии процесса. Пример метода оценки риска приводится в Таблице 7.2 и описывается ниже.

Постановка проблемы и выявление опасностей

Все потенциальные опасности, источники и события, которые могут привести к возникновению этих опасностей (что именно может случиться и как) должны быть выявлены и документированы для каждого компонента системы питьевого водоснабжения, независимо от того, находится ли данный компонент под прямым контролем водоснабжения. Сюда могут относиться точечные источники загрязнения (например, бытовые и промышленные отходы), а также диффузные источники (например, загрязнение, связанное с ведением сельского хозяйства и животноводства). Следует также учитывать непрерывное, периодическое или сезонное загрязнение, а также маловероятные и нечастые события, такие как засухи и наводнения.

В более широком смысле опасности следует рассматривать с точки зрения опасных сценариев, являющихся событиями, которые могут привести к воздействию на человека определенных патогенных организмов. Подобные события (например, пиковое загрязнение водоисточника бытовыми источниками) могут квалифицироваться как опасность.

При этом необходимо выбрать такие репрезентативные организмы, борьба с которыми обеспечит контроль в отношении всех, вызывающих опасение, патогенов. Обычно для этого необходимо включить в анализ по крайней мере один из бактериальных патогенов, вирусов и протозойных организмов.

Таблица 7.2 Парадигма оценки риска для расчета риска для здоровья, создаваемого патогенами

Этап	Цель
1. Постановка проблемы и выявление опасностей	Выявить все возможные опасности, связанные с питьевой водой, которые могут иметь неблагоприятные медико-санитарные последствия, а также пути их движения от источника(ов) до потребителя(ей)
2. Оценка экспозиции	Определить масштабы и особенности воздействия патогенов на население, а также путь, интенсивность и продолжительность экспозиции
3. Оценка дозозависимой реакции организма	Охарактеризовать взаимосвязь между воздействием патогена и последствиями для здоровья
4. Характеристика риска	Объединить информацию, касающуюся воздействия патогенов на организм, реакции организма на определенную дозу и медико-санитарных мероприятий с тем, чтобы оценить масштабы медико-санитарной проблемы, а также учесть факторы непостоянства и неопределенности

Источник: Адаптировано из Haas et al. (1999 г.).

Оценка экспозиции к патогенам

Под оценкой экспозиции к патогенам следует понимать определение числа патогенных микроорганизмов, попадающих в организм человека, главным образом пищевым путем.

Оценка экспозиции носит характер прогнозирования, что нередко подразумевает субъективность. В ней непременно содержится неопределенность и в ней должна учитываться изменчивость таких факторов как колебания концентрации микроорганизмов с течением времени, количество патогенов, попадающих в организм и т.п. Под экспозицией к патогенам подразумевается единая доза патогенов, попадающих в организм человека в определенный момент времени, или их общее количество, попадающее в организм в несколько приемов (например, в течение года). Экспозиция к патогенам выражается концентрацией бактерий в питьевой воде и количеством потребляемой воды.

В редких случаях представляется возможным или необходимым регулярно измерять количество патогенов в питьевой воде. Чаще всего величина концентрации патогенов в водоисточнике предполагается или замеряется, и ее расчетное уменьшение, достигаемое, например, благодаря водоочистке, используется для расчета концентрации патогенов в потребляемой воде. Измерение количества патогенов, если таковое проводится, обычно лучше всего осуществлять в том месте, где патогены присутствуют в наивысших концентрациях (обычно в водоисточнике). Расчетный показатель их удаления при помощи поэтапных мер очистки обычно производится при помощи расчета по индикатору (как например, *E.coli* в том, что касается бактериальных энтеропатогенов).

Другой компонент оценки воздействия патогенов, являющийся общим для всех патогенов, – это количество некипяченой воды, потребляемой населением с учетом различий в потреблении воды между различными лицами и, в особенности, с учетом потребления воды в группах риска. Что касается опасностей бактериального загрязнения, важно, чтобы количество некипяченой питьевой воды, потребляемой непосредственно и используемой в приготовлении пищи, при расчете риска использовалось, поскольку нагревание быстро инактивирует патогены. Это количество воды ниже по своему значению, чем то, которое используется при расчете рекомендаций по химической очистке и критериев качества воды.

Интенсивность ежедневного воздействия патогенов на человека рассчитывается путем умножения концентрации патогенов в питьевой воде на количество потребляемой питьевой воды. Для целей настоящих рекомендаций потребление некипяченой питьевой воды предполагается равным одному литру воды в день.

Оценка дозозависимой реакции организма

Вероятность неблагоприятных последствий для здоровья в результате экспозиции к одному или более патогенным организмам рассчитывается на основе модели дозозависимой реакции. Данные, касающиеся дозозависимой реакции, получены главным образом по результатам наблюдения за группой здоровых взрослых добровольцев. Некоторые подгруппы населения как, например, дети, пожилые люди и лица с нарушенным иммунитетом, более чувствительны к инфекционным заболеваниям; однако в настоящее время необходимых данных, объясняющих это явление, недостаточно.

Концептуальной основой инфекционной модели является тот факт, что экспозиция к определенной установленной дозе патогенов создает вероятность инфекции как обусловленного явления. Для того чтобы произошло инфицирование, в организм человека должен проникнуть один или более жизнеспособных патогенов. Кроме того, один или более проникших патогенов должны в организме человека выжить. Важной концепцией здесь является принцип точечного воздействия (т.е. что даже единственный микроорганизм может оказаться способным вызвать инфекцию и заболевание, возможно с незначительной вероятностью). Эта концепция заменяет собой концепцию (минимальной) дозы инфицирования, которая часто использовалась в ранней литературе (см. вспомогательный документ *Hazard Characterization for Pathogens in Food and Water*; раздел 1.3).

В целом, распределение патогенов в воде подчиняется закону Пуассона. В тех случаях, когда индивидуальные вероятности каких-либо организмов выжить и

инициировать инфекцию являются равными, дозозависимое отношение сводится к экспоненциальной функции. Однако если в индивидуальной вероятности инфицировать наблюдается неоднородность, то это создает бета-дозозависимое распределение Пуассона, где «бета» означает распределение индивидуальных вероятностей инфицировать между патогенами (и реципиентами). При малых экспозициях, какие обычно имеют место при потреблении питьевой воды, дозозависимая реакция имеет примерно линейный вид и может быть упрощенно представлена как вероятность инфекции, являющейся результатом экспозиции к единственному микроорганизму (см. вспомогательный документ *Hazard Characterization for Pathogens in Food and Water*; раздел 1.3).

Характеристика риска

В характеристике риска объединяются данные, собранные в отношении экспозиций к патогену, дозозависимой реакции, тяжести заболевания и времени болезни.

Вероятность инфекции рассчитывается как произведение экспозиции через питьевую воду на вероятность того, что экспозиция к какому-либо одному организму приведет к инфекции. Вероятность инфекции в день умножается на 365 для расчета вероятности инфекции в год. При этом предполагается, что различные события экспозиции к патогенам независимы и что защитного иммунитета не возникает. Подобные упрощения справедливы лишь для случаев незначительного риска.

Не у всех инфицированных лиц проявятся клинические симптомы заболевания; для большинства патогенов характерна асимптоматическая инфекция. Процент инфицированных лиц, у которых появятся клинические симптомы, зависит от патогена, но также и от других факторов, таких как состояние иммунной системы инфицированного лица. Риск заболеваний в год рассчитывается путем умножения вероятности инфекции на вероятность заболевания данной инфекцией.

Малые величины, показанные в Таблице 7.3, можно рассматривать как вероятность того, что какое-либо отдельное лицо проявит симптомы заболевания в данный год. Например, риск заболевания, вызываемого микроорганизмом *Campylobacter* 2.5×10^{-4} в год, указывает на то, что в среднем 1 человек из 4 000 будет инфицирован кампилобактериозом через питьевую воду.

Для того чтобы пересчитать риск развития какого-либо заболевания в бремени болезней из расчета на один случай, используется показатель DALY. Результат должен отражать не только последствия в острых предельных значениях (например, диарейное заболевание), но также смертность и последствия более опасных предельных значений (например, синдром Гийен-Барре, ассоциируемый с *Campylobacter*). Бремя заболеваний из расчета на единичный случай изменяется в широких пределах. Например, рассчитываемое на 1 000 случаев бремя заболеваний, связанных с ротавирусной диареей составляет 480 DALY в регионах с низким доходом, где нередко отмечается детская смертность. Однако оно составляет лишь 14 DALY на 1 000 случаев в регионах с высоким доходом, где больничные структуры имеются в распоряжении значительного большинства населения (см. вспомогательный документ *Quantifying Public Health Risk in the WHO Guidelines for Drinking-water Quality*; раздел 1.3).

Таблица 7.3 Взаимосвязь приемлемого бремени болезней и качества водопроводящего источника по отдельным патогенам: пример расчета

Речная вода (загрязняемая бытовыми стоками и животными)		<i>Cryptosporidium</i>	<i>Campylobacter</i>	Rotavirus ^a
Качество необработанной воды (C _R)	Микроорганизмов на литр	10	100	10
Степень очистки, необходимая для установления приемлемого риска (PT)	Процент уменьшения содержания	99,994%	99,99987%	99,99968%
Качество питьевой воды (C _D)	Микроорганизмов на литр	6,3 × 10 ⁻⁴	1,3 × 10 ⁻⁴	3,2 × 10 ⁻⁵
Потребление некипяченой питьевой воды (V)	Литров в день	1	1	1
Экспозиция к патогенам через питьевую воду (E)	Микроорганизмов в день	6,3 × 10 ⁻⁴	1,3 × 10 ⁻⁴	3,2 × 10 ⁻⁵
Дозозависимая реакция (r)	Вероятность инфекций на организм	4,0 × 10 ⁻³	1,8 × 10 ⁻²	2,7 × 10 ⁻¹
Риск инфекции (P _{inf,d})	В день	2,5 × 10 ⁻⁶	2,3 × 10 ⁻⁶	8,5 × 10 ⁻⁶
Риск инфекции (P _{inf,y})	В год	9,2 × 10 ⁻⁴	8,3 × 10 ⁻⁴	3,1 × 10 ⁻³
Риск (диарейной) инфекции от данной инфекции (P _{illinf})		0,7	0,3	0,5
Риск (диарейной) инфекции (P _{ill})	В год	6,4 × 10 ⁻⁴	2,5 × 10 ⁻⁴	1,6 × 10 ⁻³
Бремя болезней (db)	Удельный DALY	1,5 × 10 ⁻³	4,6 × 10 ⁻³	1,4 × 10 ⁻²
Подверженная часть (f _s)	Процент населения	100%	100%	6%
Бремя болезни (DB)	DALY в год	1 × 10 ⁻⁶	1 × 10 ⁻⁶	1 × 10 ⁻⁶

Формулы: C_D = C_R × (1 – PT)

E = C_D × V

P_{inf,d} = E × r

^a Данные из регионов с высоким доходом. В регионах с низким доходом болезнь протекает тяжелее, однако инфицирование через питьевую воду не является преобладающим.

Эта значительная разница в бремени болезней определяет более жесткие требования к водоочистке в регионах с низким доходом по отношению к воде одинакового качества, для того чтобы обеспечить одинаковую степень риска (выражаемую в DALY в год). В идеальном случае расчетные показатели бремени болезней в Таблице 7.3 должны быть адаптированы к конкретным национальным обстоятельствам. В Таблице 7.3 не учитываются последствия воздействия патогенов на лиц с нарушенным иммунитетом (например, в случае криптоспориоза у пациентов ВИЧ/СПИДа), что в некоторых странах имеет большое значение. В разделе 3.3.3 приводится больше информации в отношении показателя DALY и каким образом он применяется для расчета контрольного уровня риска.

К некоторым патогенам чувствительна лишь некоторая часть населения, поскольку иммунитет, приобретенный после первоначального эпизода инфекции или заболевания, может сохраняться в течение всей жизни. К таким патогенам относятся вирус гепатита А и ротавирусы. Согласно расчетам, в развивающихся странах все дети в возрасте свыше 5 лет имеют иммунитет против ротавирусов, что является результатом неоднократных экспозиций в течение первых лет жизни. В результате этого болезням, вызываемым ротавирусом, подвержены в среднем 17% населения. В развитых странах ротавирусная

инфекция также часто встречается в течение первых лет жизни, и заболевание диагностируется главным образом у детей раннего возраста, однако процент детей раннего возраста от общей численности населения ниже. В результате этого в развитых странах заболеваемости в среднем подвержены 6% населения.

Неопределенность подобной оценки риска является результатом неопределенности и изменчивости данных, собираемых на различных этапах оценки риска. Идеально модели оценки риска должны учитывать эту изменчивость и неопределенность, хотя здесь мы приводим лишь точечные оценки (см. ниже).

Важно выбрать наиболее целесообразную точечную оценку для каждой из переменных. Теоретические соображения подсказывают, что риски прямо пропорциональны арифметической средней количества патогенов, попадающих в организм. Поэтому в отношении таких переменных, как концентрация в сырой воде, степень очистки и потребление питьевой воды рекомендуется применять арифметические средние. Эта рекомендация отличается от обычной практики, распространенной среди микробиологов и инженеров и состоящей в пересчете концентраций и результатов водоочистки в логарифмические значения и в проведении расчетов или спецификаций в логарифмической шкале. Подобные расчеты дают скорее геометрические, нежели арифметические средние, и риск может значительно недооцениваться. Поэтому для анализа данных по конкретному водоему может оказаться необходимым вернуться к исходным данным, а не полагаться на приводимые и пересчитанные в логарифмические значения данные.

7.2.3 Установление показателей эффективности на основе риска

Вышеизложенная процедура позволяет произвести оценку риска на уровне населения, учитывая качество водоема и влияние регулирующих мер. Это можно сравнить с контрольным уровнем риска (см. раздел 3.3.2) или с рассчитываемым для местных условий приемлемым риском. Расчеты позволяют установить количественную степень защиты водоема или указать на очистку, которую необходимо провести для достижения заранее определенного уровня приемлемого риска, а также проанализировать расчетное воздействие различных контрольных мер.

Показатели эффективности чаще всего соотносятся с эффективностью водоочистки, что предполагает определение такого снижения бактериального содержания, которое необходимо для обеспечения безопасности воды. Показатель эффективности может быть применен к конкретной системе (с тем, чтобы можно было принять во внимание особые свойства водоема) или к обобщенной системе (например, задаться качеством воды в водоемах для всех систем определенного типа или определить условия водозабора из определенного водоема).

На Рисунке 7.2 указаны параметры эффективности водоочистки в отношении ряда патогенов, встречающихся в неочищенной воде. Например, наличие 10 микроорганизмов на литр воды в водоеме определяет необходимый показатель эффективности в 4,2 log (по логарифмической шкале) (или 99,994%) для микроорганизма *Cryptosporidium* или 5,5 log (99,99968%) для ротавирусов из расчета условий регионов с высоким доходом (см. также Таблицу 7.4 ниже). Различия в параметрах эффективности в отношении ротавируса в странах с высоким и низким доходом (5,5 и 7,6 log; Рисунок 7.2) объясняется различием тяжести заболевания, вызываемого этим организмом. В странах с низким доходом коэффициенты детской смертности сравнительно велики, и вследствие этого более высоким является показатель бремени заболеваний. Помимо этого, в странах с низким доходом в возрасте до 5 лет пребывает более значительная доля населения, которая подвержена ротавирусной инфекции.

Рисунок 7.2 Показатели эффективности для отдельных бактериальных вирусных и протозойных патогенов по отношению к качеству неочищенной воды (для того, чтобы обеспечить 10^{-6} DALY на человека в год)

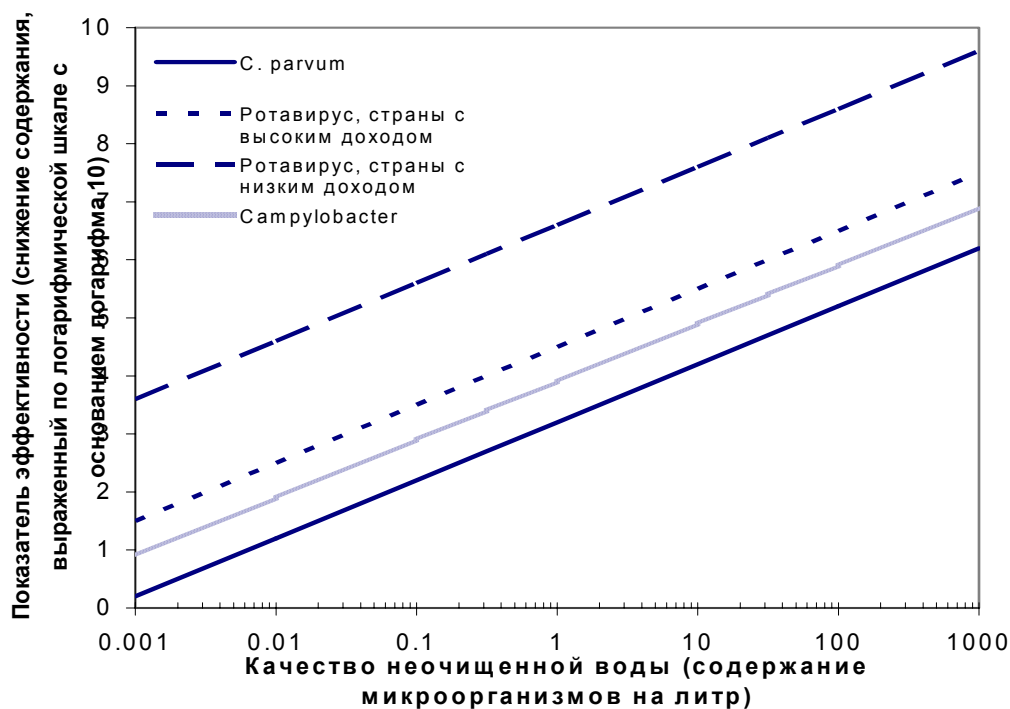


Таблица 7.4 Санитарно-гигиенические показатели, полученные из примера расчета в Таблице 7.3

	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Campylobacter</i>	Ротавирус ^a
Содержание микроорганизмов на литр воды из водоисточника	10	100	10
Медико-санитарные результаты	10 ⁻⁶ DALY на человека в год	10 ⁻⁶ DALY на человека в год	10 ⁻⁶ DALY на человека в год
Риск диареи ^b	1 на 1600 в год	1 на 4000 в год	1 на 11 000 в год
Качество питьевой воды	1 на 1600 литров	1 на 8000 литров	1 на 32 000 литров
Показатель эффективности ^c	4,2 log ₁₀	5,9 log ₁₀	5,5 log ₁₀

^a Данные из регионов с высоким доходом. В регионах с низким доходом заболевание обычно протекает тяжелее, однако инфицирование через питьевую воду не является доминирующим.

^b Касается чувствительного населения.

^c Показатель эффективности является мерой логарифмического снижения количества патогенов по отношению к качеству воды в водоисточнике.

Расчет указанных показателей эффективности описан в Таблице 7.4, где приводится пример данных и расчетов, которые обычно используются для построения модели оценки риска в отношении переносимых водой патогенов. В таблице представлены данные по представителям трех основных групп патогенов (бактерии, вирусы и протозойные) из нескольких источников. Эти расчеты, носящие примерный характер, направлены на вычисление контрольного уровня риска 10⁻⁶ DALY на человека в год в соответствии с тем, как это изложено в разделе 3.3.3. Данные таблицы иллюстрируют расчеты, необходимые для того, чтобы перейти к оценке риска, и не представляют собою рекомендательные значения.

7.2.4 Результаты расчета показателей эффективности

В Таблице 7.4 представлены некоторые данные из Таблицы 7.3 в формате, который более понятен для руководящего звена, занимающегося управлением рисками. Средняя концентрация патогенов в питьевой воде включена для информации. Эти данные не отражают показателей качества воды, они также не предполагают отслеживание содержания патогенов в воде, прошедшей цикл очистки. Например, концентрация $6,3 \times 10^{-4}$ *Cryptosporidium* на литр (см. Таблицу 7.3) соответствует содержанию 1 ооцисты на 1600 литров (см. Таблицу 7.4). Показатель эффективности (в строке «Степень очистки» в Таблице 7.3), выраженный в виде процентного уменьшения содержания патогенов, является наиболее важным элементом информации для руководства в таблице по оценке риска. Он также может быть выражен в виде логарифмической величины снижения содержания патогенов. Например, снижение содержания ротавируса на 99,99968% соответствует 5,5 единиц по логарифмической шкале с основанием 10.

7.2.5 Вопросы адаптации методов расчета показателей эффективности на основе расчета риска к национальным/локальным условиям

Выбор патогенов в Таблице 7.4 был произведен главным образом благодаря наличию данных об устойчивости патогенов к процессу водоочистки, инфекционности и бремени заболеваний. Приводимые в примере патогены могут не являться самыми важными патогенами во всех регионах мира, хотя изменение состава патогенов обычно оказывает незначительное влияние на общие выводы, связанные с применением данной модели.

При проведении оценок подобного типа и в тех случаях, когда это возможно, следует использовать информацию, характерную для данной страны или для данного места. Если специфические данные отсутствуют, то приблизительная оценка риска может быть проведена по базисным данным (см. Таблицу 7.5 ниже).

В Таблице 7.4 показаны лишь изменения в качестве воды, полученные благодаря водоочистке, но не связанные с мерами по защите источника, которые в более значительной степени влияют на общую безопасность воды, регулируя концентрацию и/или состав патогенов. Оценка риска, представленная в Таблице 7.3, также предполагает, что в процессе распределения качество воды не ухудшается. Эти предположения могут не всегда оказаться реалистичными, и целесообразно всякий раз принимать эти факторы во внимание.

В Таблице 7.4 представлены лишь точечные оценки и не учитываются изменчивость и неопределенность. Полные модели оценки риска учитывают такие факторы, представляя вводимые переменные путем статического распределения, а не путем точечных оценок. Однако подобные модели в настоящее время большинству стран недоступны и данные, представленные в подобных распределениях, скудны. Получение подобных данных может потребовать значительных усилий с точки зрения времени и ресурсов, однако это способствовало бы значительно лучшему пониманию фактического качества водоисточников и требований с точки зрения водоочистки.

Необходимая степень очистки также зависит от заданных переменных величин (например, потребление питьевой воды, доля населения, подверженного заболеваниям), которые необходимо принимать во внимание в модели оценки риска. На Рисунке 7.3 показаны результаты изменения потребления некипяченой питьевой воды на критерий эффективности в отношении *Cryptosporidium parvum*. Например, если концентрация в сырой воде составляет 1 ооциста на литр, то критерий эффективности должен изменяться от 2,6 до 3,5 единиц по логарифмической шкале в тех случаях, когда потребление воды составляет от 0,25 до 2 литров в день. Некоторые эпидемиологические данные позволяют предположить, что в развитых странах значительная доля населения в возрасте свыше 5 лет имеет иммунитет к ротавирусам. На Рисунке 7.4 показано влияние колебаний в численности той доли населения, которая чувствительна к инфекции. Например, если концентрация в сырой воде составляет 10 вирусных частиц на литр, то критерии

эффективности увеличиваются с 5,5 до 6,7, если доля населения, чувствительного к инфекции, увеличивается с 6 до 100%.

Cryptosporidium parvum

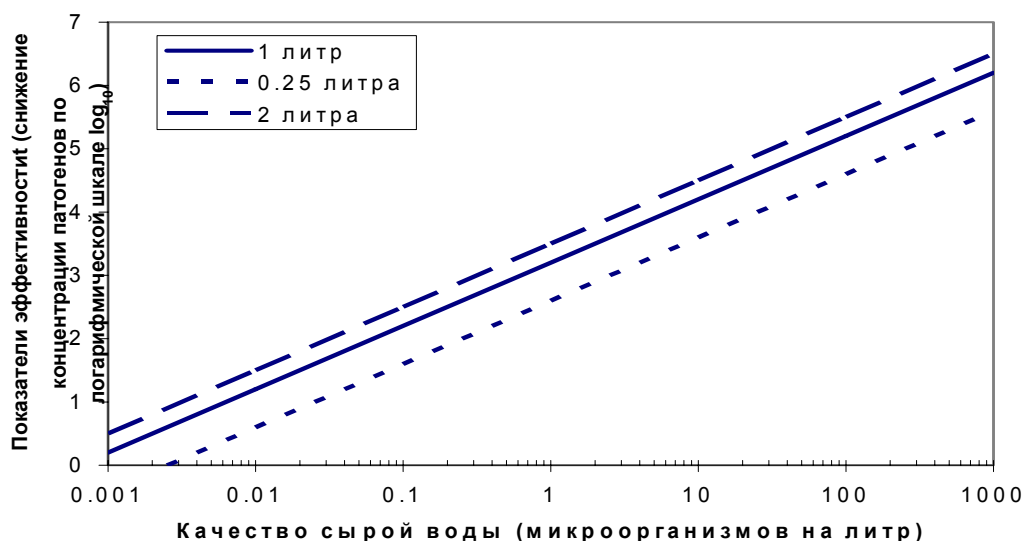


Рисунок 7.3 Критерии эффективности в отношении *Cryptosporidium parvum* при ежедневном потреблении некипяченой питьевой воды (обеспечивая уровень 10^{-6} DALY на человека в год)

7.2.6 Медико-санитарные результаты

Медико-санитарные результаты, предусматривающие снижение заболеваемости населения, могут быть установлены в ПБВ, разработанных в отношении конкретных мер по водоочистке, принимаемых на коммунальном уровне и на уровне домашних хозяйств. В этих задачах определяется ожидаемое снижение заболеваемости в тех районах, где такие меры принимаются.

Очередность мероприятий по улучшению качества воды должна определяться теми факторами, которые предполагаются ответственными за более чем 5% бремени определенного заболевания (например, 5% диарейных заболеваний). Во многих странах мира проведение мероприятий в области качества воды, которые приводят к снижению заболеваемости на более чем 5%, считались бы чрезвычайно успешными. Непосредственное подтверждение медико-санитарных достижений, получаемых в результате улучшения качества воды и выражающихся, например, в снижении концентрации *E.coli* в точке потребления, может оказаться возможным в тех случаях, где бремя заболевания является значительным, и где применяются эффективные меры, что может явиться убедительным аргументом, указывающим на первый шаг в направлении постепенного улучшения качества воды.

В тех случаях, когда определенное количественное снижение заболеваемости определяется в качестве медико-санитарного результата, может оказаться целесообразным проводить постоянное и активное обследование здоровья репрезентативного населения, а не ограничиваться пассивным наблюдением.

Ротавирус, страны с высоким доходом

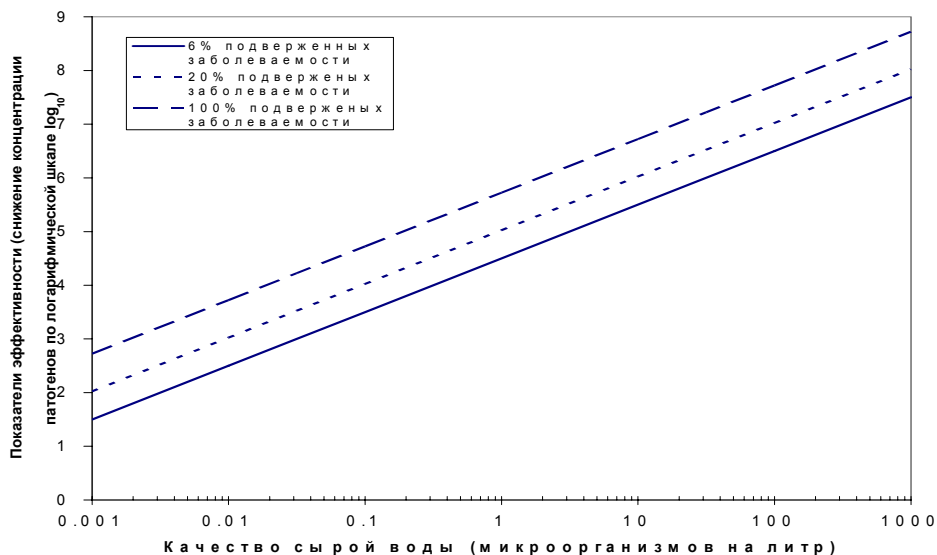


Рисунок 7.4 Показатель эффективности в отношении ротавируса, касающийся той части населения, которая восприимчива к заболеваниям (обеспечивая уровень 10^{-6} DALY на человека в год)

7.3 Распространенность патогенов в воде и способы их удаления

Как указывалось в разделе 4.1, оценка системы подразумевает выявление того, насколько способна система подачи питьевой воды в целом обеспечить качество питьевой воды, отвечающей установленным показателям. Для этого необходимо иметь представление о качестве водоисточника и эффективности контрольных мер.

Иметь понятие о распространенности патогенов в водоисточниках крайне важно, поскольку это помогает выбрать высококачественный источник для питьевого водоснабжения, определить содержание патогенов и их концентрацию в водоисточнике, и исходить из этого при разработке требований в области очистки, которые отвечали бы санитарно-гигиеническим показателям, заложенным в ПБВ.

Понимание эффективности контрольных мер предполагает валидацию (см. раздел 2.1.2 и 4.1.7). Валидация имеет важное значение в достижении тех целей, которые ставятся в процессе водоочистки (показатели эффективности), и в плане оценки тех аспектов, в отношении которых эффективность может быть улучшена (например, путем сравнения эффективности, которая достигнута, с эффективностью, которую можно достичь при правильном проведении процесса).

7.3.1 Распространенность

Распространенность патогенов и индикаторных организмов в грунтовых и поверхностных водах зависит от ряда факторов, в том числе от собственных физических и химических характеристик водозабора, а также от активности и масштабов деятельности человека и животных, которые высвобождают патогены в окружающую среду.

В поверхностных водах к потенциальным источникам патогенов относятся точечные источники, такие как муниципальные стоки и городские ливневые стоки, а также не точечные источники, такие как загрязненные стоки из сельскохозяйственных зон и зон с местными септическими системами и выгребными ямами. К другим источникам относятся дикие животные и сельскохозяйственные животные, имеющие прямой доступ к поверхностным водоемам. Концентрация многих патогенов в поверхностных водах понижается вследствие поступления дополнительной воды, осадков и распада

микроорганизмов в результате воздействия факторов окружающей среды (температура, солнечный свет, поглощение организмами, питающимися бактериями и т.п.).

Грунтовые воды часто более защищены от непосредственного влияния источников загрязнения, в силу того верхние слои почвы и ее ненасыщенные зоны обеспечивают защитный эффект. Загрязнение грунтовых вод происходит чаще в тех случаях, когда нарушаются эти защитные барьеры, в результате чего происходит прямое загрязнение. Это может происходить через загрязненные или заброшенные колодцы или в результате воздействия подземных источников загрязнения, таких как выгребные ямы и канализация. Однако в ряде исследований указывается на наличие патогенов и индикаторных микроорганизмов в грунтовых водах даже на глубине при отсутствии таких опасных факторов, в особенности в тех случаях, когда поверхностное загрязнение ярко выражено, что имеет место при применении навоза и других фекальных элементов, возникающих в результате интенсивного животноводства (например, в загонах для скота). Влияние таких источников загрязнения можно в значительной мере уменьшить, например при помощи защиты водоносных слоев и надлежащего проектирования и строительства колодцев.

Более подробное обсуждение источников патогенов и ключевых факторов, определяющих их действие, можно найти во вспомогательных документах *Protecting Surface Waters for Health* и *Protecting Groundwaters for Health* (раздел 1.3).

В Таблице 7.5 представлены расчетные данные о высоких концентрациях энтеропатогенов и бактериальных индикаторов в различных видах поверхностных вод и в грунтовых водах, полученные главным образом из опубликованных работ. Завышенные значения приведены по той причине, что они представляют собой ситуацию значительного риска и, в силу этого, более значительную степень уязвимости. В таблицу включены два вида данных в отношении рек и водостоков: один в отношении «перегруженных» источников и другой – в отношении менее «перегруженных» источников. Более подробная информация, касающаяся этих данных, опубликована в различных изданиях, включая ряд докладов, которые приводит Dangendorf et al. (2003г.).

Данные в Таблице 7.5 являются полезным руководством в отношении концентраций энтеропатогенов и индикаторных микроорганизмов в различных водоисточниках. Однако эти данные страдают некоторыми ограничениями и неопределенностями, в том числе:

Таблица 7.5 Имеющиеся в научной литературе примеры значительных обнаруживаемых концентраций (на литр) энтеропатогенов и индикаторов фекального загрязнения в различных видах водоисточников

Патоген или группы бактериальных индикаторов	Озера и резервуары	Загрязненные реки и водотоки	Реки и водотоки в необитаемых районах	Грунтовые воды
<i>Campylobacter</i>	20–500	90–2500	0–1100	0–10
<i>Salmonella</i>	–	3–58 000 (3–1000) ^a	1–4	–
<i>E. coli</i> (общего вида)	10 000–1 000 000	30 000–1 000 000	6000–30 000	0–1000
Вирусы	1–10	30–60	0–3	0–2
<i>Cryptosporidium</i>	4–290	2–480	2–240	0–1
<i>Giardia</i>	2–30	1–470	1–2	0–1

^a Нижняя граница соответствует последним замерам.

- отсутствие сведений о месте забора проб по отношению к источникам загрязнения;
- сомнения в отношении точности аналитических методов, в особенности в том, что касается вирусов и протозойных организмов; и

- отсутствие сведений о жизнеспособности и инфекционности для человека ооцист *Cryptosporidium*, цист *Giardia* и вирусов, обнаруженных в ходе разных исследований, поскольку различные использовавшиеся методы не были основаны на методе культуры (а например, на микроскопии или анализе молекулярных/нуклеиновых кислот).

Хотя в таблице дается указание на концентрации, которые могут иметь место в водоисточниках, гораздо более точным способом определения патогенной нагрузки и концентрации патогенов в конкретных водазборах и других водоисточниках является анализ качества воды в течение некоторого периода времени, при котором учитываются сезонные вариации и пиковые явления, как например ливневые дожди. Прямое измерение количества патогенов и индикаторных микроорганизмов в отдельных водоисточниках, в отношении которых разрабатываются ПКВ и определяются целевые патогены, рекомендуется всякий раз, когда это возможно, поскольку это дает лучшие показатели в отношении бактериальных концентраций и нагрузок.

7.3.2 Водоочистка

В водоснабжении наиболее высокого качества, например, на основе грунтовых вод из ограниченных водоносных слоев, в качестве основного контрольного механизма обеспечения безопасной воды можно полагаться на водоисточник и защищенную систему распределения. В более общем случае для удаления или разрушения патогенных микроорганизмов необходима водоочистка. Во многих случаях (например, поверхностные воды плохого качества) необходимо несколько этапов водоочистки, в том числе, например, коагуляция, флокуляция, седиментация, фильтрование и дезинфекция. В Таблице 7.6 в обобщенном виде представлены процессы водоочистки, которые широко используются по отдельности или в сочетании друг с другом для снижения бактериального содержания.

Снижение бактериального содержания, показанное в Таблице 7.6, затрагивает обширные группы или категории микроорганизмов: бактерии, вирусы и протозойные. Это достигается за счет того, что обычно эффективность водоочистки в плане снижения бактериального содержания различна для этих бактериальных групп в силу различных свойств, присущих бактериям (например, размера, особенностей защитного слоя, физико-химических свойств поверхностей и т.п.). В пределах этих бактериальных групп различие в эффективности процессов водоочистки наблюдается в меньшей степени в рамках отдельных видов, типов или штаммов бактерий.

Таблица 7.6 Снижение содержания бактерий, вирусов и протозойных посредством обычных и усовершенствованных методов водоочистки

Тип водоочистки	Группа энтеропатогенов	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
Предварительная очистка			
Грубое фильтрование	Бактерии	50%	До 95%, если есть защита от пиков помутнения при помощи динамических фильтров или если они применяются после окончательной выдержки
	Вирусы Протозойные	Данных нет Данных нет, некоторое удаление возможно	Удаление протозойных возможно происходит одновременно с удалением помутнения
Микрофильтрование	Бактерии, вирусы,	Ноль	Обычно неэффективно

Тип водоочистки	Группа энтеропатогенов	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
Береговое накопление	протозойные		
	Все	Повторное загрязнение может оказаться значительным и усилить уровни загрязнения в поступающей воде; размножение водорослей может ухудшить качество воды	Прекращение водозабора в периоды максимального помутнения равноценны 90% удалению; хранение в отдельных накопителях повышает степень удаления на 15–230 раз
	Бактерии	Ноль (предполагая неполную очистку)	Удаление на 90% в течение 10–40 дней фактического хранения
	Вирусы	Ноль (предполагая неполную очистку)	Удаление на 93% в течение 100 дней фактического хранения
Береговая инфильтрация	Протозойные	Ноль (предполагая неполную очистку)	Удаление на 99% в течение 3 недель фактического хранения
	Бактерии	99,9% после 2 мес. 99,99% после 4 мес. (минимум рассчитывается по удалению вируса)	
	Вирусы	99,9% после 2 мес. 99,99% после 4 мес.	
	Протозойные	99,99%	
Коагуляция/ флокуляция/ седиментация			
Обычное осветление	Бактерии	30%	90% (в зависимости от коагулянта, рН, температуры, щелочного состава, мутности)
	Вирусы	30%	70% (см. выше)
	Протозойные	30%	90% (см. выше)
Интенсивное осветление	Бактерии	По крайней мере 30%	
	Вирусы	По крайней мере 30%	
	Протозойные	95%	99,99% (в зависимости от использования соответствующего подстилочного полимера)
Флотация растворенным воздухом	Бактерии	Данных нет	
	Вирусы	Данных нет	
	Протозойные	95%	99,9% (в зависимости от рН, дозы коагулянта, времени флокуляции, коэффициента оборота)
Известковое смягчение	Бактерии	20% при рН 9,5 в течение 6 ч. при 2–8 °С	99% при рН 11,5 в течение 6 ч. при 2–8 °С
	Вирусы	90% при рН <11 в течении 6 ч.	99,99% при рН >11, в зависимости от вируса и времени седиментации
	Протозойные	Низкая инаktivация	99% посредством ускоренного осаждения и инаktivации при рН 11,5
Ионный обмен			
	Бактерии	Ноль	
	Вирусы	Ноль	

Тип водоочистки	Группа энтеропатогенов	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
	Протозойные	Ноль	
Фильтрование			
Гранулярное интенсивное фильтрование	Бактерии	Данных нет	99% при оптимальных условиях коагуляции
	Вирусы	Данных нет	99,9% при оптимальных условиях коагуляции
	Протозойные	70%	99,9% при оптимальных условиях коагуляции
Медленное фильтрование через песок	Бактерии	50%	99,5% при оптимальном выдерживании, очистке и наполнении, а также при отсутствии неполной очистки
	Вирусы	20%	99,99% при оптимальном выдерживании, очистке и наполнении, а также при отсутствии неполной очистки
	Протозойные	50%	99% при оптимальном выдерживании, очистке и наполнении и при отсутствии неполной очистки
Послойное фильтрование	Бактерии	30–50%	96–99,9% при использовании предварительной химической очистки с полимерными коагулянтами
Диатомея и перлит	Вирусы	90%	98% при использовании предварительной химической очистки с коагулянтами или полимерами
	Протозойные	99,9%	99,99%, в зависимости от сортамента средства и степени фильтрования
Мембранное фильтрование – микрофильтрование	Бактерии	99,9–99,99% при условии соответствующей предварительной очистки и сохранении целостности мембраны	
	Вирусы	<90%	
	Протозойные	99,9–99,99% при условии надлежащей предварительной очистки и сохранении целостности мембраны	
Мембранное фильтрование – ультра-фильтрование, нанофильтрование	Бактерии	Полное удаление при условии надлежащей предварительной очистки и сохранении целостности мембраны	

Тип водоочистки	Группа энтеропатогенов	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
и обратный осмос	Вирусы	Полное удаление при помощи нанофильтрации и обратного осмоса при меньшем диаметре пор ультрафильтров при условии надлежащей предварительной очистки и сохранении целостности мембраны	
	Протозойные	Полное удаление при условии надлежащей предварительной очистки и сохранении целостности мембраны	
Дезинфекция			
Хлор	Бактерии	St_{99} : 0,08 мг·мин/литр при 1–2 °С, рН 7; 3,3 мг·мин/литр при 1–2 °С, рН 8,5	
	Вирусы	St_{99} : 12 мг·мин/литр при 0–5 °С; 8 мг·мин/литр при 10 °С; в обоих случаях при рН 7–7,5	
	Протозойные	<i>Giardia</i> St_{99} : 230 мг·мин/литр при 0,5 °С; 100 мг·мин/литр при 10 °С; 41 мг·мин/литр при 25 °С; во всех случаях при рН 7–7,5 <i>Cryptosporidium</i> не удаляется	
Монохлорамин	Бактерии	St_{99} : 94 мг·мин/литр при 1–2 °С, рН 7; 278 мг·мин/литр при 1–2 °С, рН 8,5	
	Вирусы	St_{99} : 1240 мг·мин/литр при 1 °С; 430 мг·мин/литр при 15 °С; в обоих случаях при рН 6–9	
	Протозойные	<i>Giardia</i> St_{99} : 2550 мг·мин/литр при 1 °С; 1000 мг·мин/литр при 15 °С; во обоих случаях при рН 6–9 <i>Cryptosporidium</i> не дезактивирован	
Диоксид хлора	Бактерии	St_{99} : 0,13 мг·мин/литр при 1–2 °С, рН 7; 0,19 мг·мин/литр при 1–2 °С, рН 8,5	
	Вирусы	St_{99} : 8,4 мг·мин/литр при 1 °С; 2,8 мг·мин/литр при 15 °С; в обоих случаях при рН 6–9	

Тип водоочистки	Группа энтеропатогенов	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
Озон	Протозойные	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 42 мг·мин/литр при 1 °C; 15 мг·мин/литр при 10 °C; 7,3 мг·мин/литр при 25 °C; во всех случаях при pH 6–9 <i>Cryptosporidium</i> Ct ₉₉ : 40 мг·мин/литр при 22 °C, pH 8	
	Бактерии	Ct ₉₉ : 0,02 мг·мин/литр при 5 °C, pH 6–7	
	Вирусы	Ct ₉₉ : 0,9 мг·мин/литр при 1 °C, 0,3 мг·мин/литр при 15 °C	
Иррадиация УФ	Протозойные	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 1,9 мг·мин/литр при 1 °C; 0,63 мг·мин/литр при 15 °C, pH 6–9 <i>Cryptosporidium</i> Ct ₉₉ : 40 мг·мин/литр при 1 °C; 4,4 мг·мин/литр при 22 °C	
	Бактерии	99% инактивация: 7 мJ/см ²	
	Вирусы	99% инактивация: 59 мJ/см ²	
	Протозойные	<i>Giardia</i> 99% инактивация: 5 мJ/см ² <i>Cryptosporidium</i> 99,9% инактивация: 10 мJ/см ²	

Примечание: Ct и УВ относятся к микроорганизмам во взвешенном состоянии и не входящими в состав частиц или биопленок.

Однако такие различия встречаются, и в таблице представлены консервативные оценки снижения бактериального содержания наиболее резистентной или жизнеспособной патогенной части этой бактериальной группы. В тех случаях, когда различия по удалению путем очистки между различными членами бактериальной группы значительны, результаты по отдельным бактериям представлены в таблице отдельно.

Вода, не поступающая по трубопроводу (сбор дождевых стоков), а также колодезная или ключевая вода часто содержит патогены. В таких источниках нередко необходима очистка и защита источника от загрязнения с тем, чтобы обеспечить более безопасную воду. Многие из процессов, используемых для водоочистки в домашних условиях те же, что и процессы, используемые в коллективных и других трубопроводных системах водоснабжения (Таблица 7.6). Эффективность этих процессов водоочистки в домашних условиях, вполне вероятно, равноценна эффективности минимального уровня удаления бактерий, как это показано в Таблице 7.6. Однако имеются дополнительные способы водоочистки, рекомендуемые для применения в нетрубопроводных системах водоснабжения в домашних хозяйствах и которые обычно не используются в трубопроводных системах.

Дополнительная информация в отношении этих процессов водоочистки, их проведения и их эффективности в плане удаления патогенов имеется более подробно во вспомогательных документах (для трубопроводных систем водоснабжения: *Water*

Treatment and Pathogen Control; для нетрубопроводных [главным образом домашних] систем водоснабжения: *Managing Water in the Home*; см. раздел 1.3).

7.4 Проверка бактериальной безопасности и качества воды

Патогенные агенты обладают рядом свойств, отличающих их от других элементов загрязнения питьевой воды:

- Патогены являются не раствором, а дискретными частицами.
- Патогены часто слипаются вместе или прилипают к взвешенным в воде твердым частицам.
- Вероятность успешного поведения патогена, приводящего к инфекции, зависит от инвазивности и вирулентности патогена, а также от иммунитета человека.
- Если инфицирование произошло, патогены размножаются в организме. Некоторые патогенные бактерии также могут размножаться в продуктах питания или напитках, создавая тем самым самоподдерживающийся цикл или даже усиливая вероятность инфекции.
- В отличие от многих химических агентов, дозозависимая реакция на патогены не является кумулятивной.

Бактерии, являющиеся индикаторами фекального загрязнения, включая *E. coli*, являются важными элементами проверки на бактериальное качество (см. также раздел 2.2.1). Такая проверка качества воды дополняет оперативный контроль и оценку рисков загрязнения, проводимые, например, путем контрольных проверок работы установки водоочистки, проверки технологического контроля и санитарных инспекций.

Для получения достоверных результатов, бактерии, являющиеся индикаторами фекального загрязнения, должны отвечать определенным критериям. Они должны повсеместно присутствовать в значительных количествах в фекалиях человека и других теплокровных животных, должны легко выявляться простыми методами и не должны размножаться в воде в естественных условиях.

В отношении фекального загрязнения наилучшим индикаторным организмом является *E. coli*. Во многих обстоятельствах при проверке на содержание *E. coli* в качестве замены могут использоваться термотолерантные колиформы.

Вода, предназначенная для потребления человеком, не должна содержать индикаторные организмы. В большинстве случаев контроль за содержанием индикаторных бактерий обеспечивает значительную степень безопасности, поскольку в загрязненных водах они присутствуют в больших количествах.

Патогены, более резистентные к обычным экологическим условиям или технологиям водоочистки, могут присутствовать в очищенной воде и в тех случаях, когда *E. coli* отсутствует. Ретроспективные исследования в отношении вспышек болезней, переносимых водой, и успехи в изучении поведения патогенов в воде подтвердили, что исходить из предположений, выстраиваемых на отсутствии или присутствии *E. coli*, не означает находить оптимальные решения, касающиеся безопасности воды.

Протозойные организмы и некоторые энтеровирусы более резистентны ко многим дезинфектантам, включая хлор, и могут сохранять жизнеспособность (и патогенность) в питьевой воде после дезинфекции. Другие организмы могут оказаться более подходящими индикаторами на сохраняющуюся бактериальную опасность, и их выбор в качестве дополнительных индикаторов должен рассматриваться с учетом местных обстоятельств и научного понимания. Поэтому проверка может потребовать анализа ряда организмов, таких как кишечные энтерококки (споры) *Clostridium perfringens* и бактериофаги.

В Таблице 7.7 представлены рекомендательные значения для проверки бактериального качества питьевой воды. Индивидуальные значения не должны выбираться непосредственно из таблиц. Рекомендательные значения следует использовать и интерпретировать одновременно с информацией, содержащейся в настоящих Рекомендациях и в других вспомогательных документах.

Таблица 7.7 Рекомендательные значения для проверки бактериального качества воды (см. также Таблицу 5.2)^a

Организмы	Рекомендуемый показатель
Все виды воды, непосредственно предназначенные для питья	
<i>E. coli</i> или термотолерантные колиформные бактерии ^{b,c}	Не должна выявляться ни в одной из проб по 100 мл
Очищенная вода, поступающая в систему распределения	
<i>E. coli</i> или термотолерантные колиформные бактерии ^b	Не должна выявляться ни в одной из проб по 100 мл
Очищенная вода в системе распределения	
<i>E. coli</i> или термотолерантные колиформные бактерии ^b	Не должна выявляться ни в одной из проб по 100 мл

^a Если *E. coli* выявляется, необходимо немедленно провести расследование.

^b Хотя *E. coli* является более точным индикатором фекального загрязнения, количество термотолерантных колиформных бактерий является приемлемой альтернативой. При необходимости должны быть проведены надлежащие подтверждающие тесты. Общий показатель по колиформным бактериям не является приемлемым индикатором санитарного качества воды, в особенности в тропических районах, где практически во всех неочищенных водах встречаются многие бактерии, не представляющие санитарной опасности.

^c Признается, что в значительном большинстве сельскохозяйственных систем водоснабжения, в особенности в развивающихся странах, фекальное загрязнение широко распространено. В особенности, в этих условиях необходимо устанавливать среднесрочные показатели постепенного улучшения систем водоснабжения.

Следствием различной чувствительности к патогенам является то, что экспозиция к питьевой воде определенного качества приводит к различным последствиям для здоровья у различных людей. При разработке рекомендаций необходимо определить контрольные группы населения или в некоторых случаях уделить особое внимание особым уязвимым подгруппам. Национальные или местные органы при разработке национальных стандартов могут применять специфические особенности населения своих регионов.

7.5 Методы обнаружения бактерий индикаторов фекального загрязнения

Анализ на бактерии индикаторы фекального загрязнения является чутким, хотя и не самым оперативным указанием на загрязнение питьевой воды. По причине того, что питательная среда и условия инкубации, а также характер и давность пробы могут обуславливать изолируемые виды и их количество, точность микробиологического анализа может колебаться. Это означает, что для того, чтобы критерии бактериального качества воды были единообразны в разных лабораториях и в разных странах, необходимо придавать большое значение стандартизации методов и лабораторных процедур.

Международные стандартные методы прежде, чем они будут приняты, должны пройти проверку с точки зрения местных условий. Имеются установленные стандартные методы наподобие методов ISO (Таблица 7.8) или методы равноценной эффективности и надежности. Желательно, чтобы для рутинных анализов применялись установленные стандартные методы. Какой бы метод ни был избран для обнаружения *E.coli* или

термотолерантных колиформ, необходимо учитывать, что штаммы, поврежденные окружающей средой или дезинфектантами, обладают способностью «оживать» или восстанавливаться.

Таблица 7.8 Стандарты Международной организации по стандартизации (ИСО) в области выявления и подсчета бактерий, являющихся фекальными индикаторами в воде

Стандарт ИСО	Название (качество воды)
6461-1:1986	Обнаружение и подсчет спор анаэробных микроорганизмов, восстанавливающих сульфиды (clostridia) – Часть 1: Метод обогащения в жидкой среде
6461-2:1986	Обнаружение и подсчет спор анаэробных микроорганизмов, восстанавливающих сульфиды (clostridia) – Часть 2: Метод мембранного фильтрования
7704:1985	Оценка мембранных фильтров, использованных для микробиологических анализов
7899-1:1984	Обнаружение и подсчет фекальных стрептококков – Часть 1: Метод обогащения в жидкой среде
7899-2:1984	Обнаружение и подсчет фекальных стрептококков – Часть 2: Метод мембранного фильтрования
9308-1:1990	Обнаружение и подсчет колиформных организмов, термотолерантных колиформных организмов и предполагаемой <i>Escherichia coli</i> – Часть 1: Метод мембранного фильтрования
9308-2:1990	Обнаружение и подсчет колиформных организмов, термотолерантных колиформных организмов и предполагаемой <i>Escherichia coli</i> – Часть 2: Метод наиболее вероятного количества

7.6 Действия на местах в случае проблем с бактериальным качеством воды и в случае санитарных аварий

В случае санитарной аварии, когда есть подтверждение фекального загрязнения питьевой воды, может оказаться необходимым либо внести изменения в порядок очистки существующих водоисточников, либо временно перейти на использование альтернативных источников питьевой воды. Может оказаться необходимым усилить дезинфекцию в водоисточнике после очистки или в процессе распределения.

Если качество воды с точки зрения бактериального не удается стабилизировать, может оказаться необходимым рекомендовать потребителям кипятить воду, пока сохраняется аварийное состояние (см. раздел 7.6.1). В тех случаях, когда для того, чтобы не допустить получения потребителями загрязненной воды в больших количествах, достаточны оперативные меры, может оказаться целесообразным провести дополнительное хлорирование и предпринять неотложные корректирующие меры.

Во время вспышек заболеваний, потенциально переносимых водой, или в тех случаях, когда обнаружено фекальное загрязнение питьевой воды, концентрация свободного хлора должна быть увеличена до уровня, превышающего 0,5 мг/л по всей системе в качестве минимальной безотлагательной меры. Крайне важно, чтобы решения принимались в консультации с органами здравоохранения и, в необходимых случаях, с гражданскими властями (см. также раздел 8.6).

7.6.1 Кипячение воды и рекомендации, касающиеся ограничений использования воды

Структурам, занимающимся водораспределением, совместно с органами здравоохранения, необходимо разработать порядок действий, предусматривающий необходимость кипятить воду и необходимость ограничить водопользование. Этот

порядок действий следует подготовить до заблаговременно и сделать его составной частью планов управления. Решения, касающиеся введения в действие ограничений, часто принимаются в срочном порядке, и обсуждение необходимых действий в ходе самой аварии может затруднить принятие решений, нарушить внешние контакты и подорвать общественное доверие.

Помимо информации, рассматриваемой в разделе 4.4.3, в документах, определяющих порядок действий, должны предусматриваться:

- критерии введения в действие и отмены ограничений;
- информацию для общественности и специфических групп; и
- сфера применения ограничений.

Порядок должен предусматривать механизмы распространения рекомендаций по поводу кипячения воды и ограничения использования воды. Механизмы могут быть различными, в зависимости от особенностей водоснабжения и численности населения, к которому это относится, и могут предусматривать:

- информационные сообщения по телевидению, радио и в газетах;
- сообщения по телефону, электронной почте или факсу в адрес отдельных учреждений, общественных групп и местных органов;
- размещение объявлений на видных местах;
- личную доставку; и
- рассылку по почте.

Избранные методы должны обеспечить обоснованную уверенность в том, что все те, кого эти рекомендации касаются, включая всех, кто в этих районах проживает, работает или находится проездом, извещены скорейшим образом.

В рекомендациях, касающихся кипячения необходимо указываться, что воду можно обезопасить, доведя ее до точки кипения. После кипячения воде надо дать остыть, не добавляя в нее льда. Эта процедура эффективна, независимо от высоты по отношению к уровню моря. Она также действенна при замутненной воде.

К случаям, когда надо вводить в действие рекомендации по кипячению, относятся:

- существенное ухудшение качества водоисточника;
- значительные нарушения процесса водоочистки или целостности систем распределения;
- недостаточная дезинфекция;
- обнаружение патогенов или фекальных индикаторов в питьевой воде; и
- эпидемиологические данные, позволяющие предположить, что причиной вспышки заболеваний является питьевая вода.

Рекомендации по кипячению являются серьезной мерой, которая может иметь значительные негативные последствия. Рекомендации кипятить воду может иметь опасные последствия для здоровья, т.к. могут иметь место случаи ошпаривания кипятком или усиливаться тревожные ощущения даже после того, как рекомендации будут отозваны. Кроме того, не все будут придерживаться рекомендаций даже в самом начале. Если рекомендации о кипячении воды публикуются неоднократно или сохраняются в силе в течение длительного периода времени, все меньше и меньше людей будут их придерживаться. Поэтому рекомендации следует издавать, лишь тщательно взвесив всю имеющуюся информацию в распоряжении органов здравоохранения и группы, координирующей аварийные работы, и придя к выводу, что риск для общественного здравоохранения сохраняется и преобладает над всяким риском, связанным с

рекомендациями кипятить воду. Например, в тех случаях, когда обнаруживается бактериальное загрязнение в пробах питьевой воды, к факторам, которые следует учитывать при оценке необходимости опубликования рекомендаций, относятся:

- достоверность и точность результатов;
- уязвимость водоисточника к загрязнению;
- подтверждение ухудшения качества воды в водоисточнике;
- результаты контроля за водоисточником;
- результаты оперативного контроля за процессами водоочистки и дезинфекции;
- остаточное количество дезинфектанта; и
- физическая целостность системы распределения.

Имеющаяся информация должна быть изучена для выявления возможного источника загрязнения и вероятности повторения или продолжения загрязнения.

Публикуемые рекомендации в отношении кипячения должны быть ясными и легко понимаемыми теми, для кого они предназначены, в противном случае их придерживаться не будут. Рекомендации обычно содержат изложение проблемы, потенциальный риск для здоровья и симптомы, действия, которые необходимо в связи с этим предпринимать, порядок расследования причин и корректирующие меры, которые были инициированы, а также предполагаемый срок разрешения проблемы. Если рекомендации вызваны вспышкой заболеваний, особые сведения должны быть приведены в отношении характера вспышки, самого заболевания и действий органов здравоохранения.

В рекомендациях по кипячению должны быть названы те аспекты использования питьевой воды, на которые эти рекомендации направлены, и те, которых они не затрагивают. В целом в рекомендациях должно быть указано, что некипяченая вода не должна использоваться для питья, приготовления холодных напитков, приготовления льда, приготовления пищи, промывания пищевых продуктов или для чистки зубов. Если степень загрязнения не столь значительна, то некипяченую воду обычно можно использовать для купания (при условии, что купающиеся не пьют эту воду), а также для стирки. Рекомендации по кипячению должны предусматривать особые положения для уязвимых групп, таких как беременные женщины или лица с нарушенным иммунитетом.

Особые рекомендации должны быть также предусмотрены для медико-санитарных учреждений, таких как стоматологические клиники, диализные центры, кабинеты врачей, больницы и другие учреждения здравоохранения, детские учреждения, школы, структуры, занимающиеся снабжением и производством продуктов питания, гостиницы, рестораны и операторы общественных бассейнов и минеральных источников.

В условиях, когда вступают в действие рекомендации кипячению и ограничению использования воды, необходимо предусмотреть снабжение питьевой водой, например водой в бутылках или цистернах. Порядок действий должен предусматривать источники альтернативного снабжения и механизмы доставки.

В порядке действий следует предусмотреть критерии отмены действия рекомендаций по кипячению и ограничению использования воды. В зависимости от причины введения в действие рекомендаций, эти критерии должны включать в себя один или более из числа нижеследующих:

- подтверждение того, что качество воды в водоисточнике вернулось к норме;
- нарушения, связанные с процессом водоочистки или системами распределения, ликвидированы;
- ошибки в процессе дезинфекции устранены и восстановление нормального остаточного уровня дезинфектанта произведено;

- в тех случаях, когда рекомендации были введены в действие по причине обнаружения бактериального загрязнения питьевой воды, наличие подтверждения того, что бактериальное загрязнение устранено или инактивировано;
- подтверждение того, что благодаря тщательной промывке магистральных водопроводов и движению воды потенциально загрязненная вода и биопленки удалены; и/или
- имеются эпидемиологические доказательства, подтверждающие, что инцидент завершен.

Когда действие рекомендаций по кипячению и ограничению использования воды отменяется, информация об этом должна быть направлена по тем же каналам и тем же группам, которые получили первоначальную информацию. Кроме того, операторы/управляющие или лица, занимающие крупные здания и здания с резервуарами для хранения воды, должны быть проинформированы о том, что они должны тщательно промыть емкости для хранения воды и обширную внутреннюю систему распределения прежде, чем снова вводить в их действие.

Рекомендации, касающиеся ограничения использования воды, которые во многом схожи с рекомендациями о кипячении воды, вводятся в действие реже, но применяются в тех случаях, когда проблемный фактор, в основном химические загрязняющие вещества, является таковым, на который кипячение не воздействует (см. раздел 8.6.).

7.6.2 Мероприятия по завершении инцидента

Важно, чтобы всякий инцидент был надлежащим образом расследован, и были предприняты корректирующие меры с тем, чтобы предупредить его повторения. В ПКВ потребуются внести изменения, чтобы учесть накопленный опыт. Его результаты могут также быть использованы в качестве основы для действий в отношении других систем водоснабжения с тем, чтобы предупредить возникновение аналогичного инцидента в других местах. В необходимых случаях эпидемиологические расследования, проводимые органами здравоохранения, также могут быть положены в основу действий в будущем.

