

Список таблиц

Таблица 2.1. Патогенные микроорганизмы, передаваемые через воду, и их значение для водоснабжения ·····	7
Таблица 2.2. Случаи интоксикации человека, вызванной цианобактериями ·····	21
Таблица 2.3. Патогенные микроорганизмы, передаваемые через воду ·····	24
Таблица 2.4. Патогенные микроорганизмы, которые могут размножаться в водораспределительной системе ·····	24
Таблица 4.1. Примеры угроз для водных ресурсов ·····	35
Таблица 4.2. Меры контроля для охранных зон грунтовых вод ·····	37
Таблица 4.3. Программы поддержки охраны грунтовых вод ·····	38
Таблица 4.4. Загрязнители сельских грунтовых вод и возможные методы обработки воды ·····	42
Таблица 4.5. Удаление патогенных микроорганизмов при отдельных процессах обработки ·····	47
Таблица 4.6. Проблемы и результаты различных этапов разработки ПОВВ ·····	60
Таблица 5.1. Пример расчета отношения шансов ·····	71
Таблица 5.2. Отношение шансов ·····	81
Таблица 6.1. Методы сбора эпидемиологических данных об исходах заболеваний ·····	91
Таблица 6.2. Вспышки болезней, связанных с питьевой водой, в США за 1998 г. ·····	98
Таблица 6.3. Критерии для оценки степени связи воды с инфекциями человека ···	99
Таблица 6.4. Классификация обследований вспышек болезней, связанных с водой, в США ·····	99
Таблица 6.5. Выявление болезни с помощью системы эпиднадзора ·····	111
Таблица 6.6. Сравнение затрат на активный и пассивный эпиднадзор ·····	115

Список рисунков

Рисунок 1.1. Европейский регион ВОЗ	1
Рисунок 1.2. Стандартизованные показатели смертности от диарейных болезней для детей в возрасте до 5 лет	2
Рисунок 1.3. Пути передачи	3
Рисунок 1.4. Схема обеспечения безопасности питьевой воды	4
Рисунок 5.1. Схема исследования «случай—контроль»	70
Рисунок 5.2. Схема когортного исследования	72
Рисунок 5.3. Искажающий фактор: загрязненные пища и вода и развитие гепатита А	73
Рисунок 6.1. Последовательность действий при регистрации случая шигеллеза	93
Рисунок 6.2. Выявление эпидемических вспышек системами эпиднадзора	94
Рисунок 6.3. Поток информации о результатах эпиднадзора между местным, региональным и национальным уровнями	109
Рисунок 6.4. Этапы выявления и регистрации случая шигеллеза	111
Рисунок 6.5. Временная задержка при эпиднадзоре, основанном на результатах лабораторной диагностики	113
Рисунок 7.1. Медико-географическое картографирование, пространственно-статистический анализ и ГИС	117
Рисунок 7.2. Многослойная структура ГИС	118
Рисунок 7.3. Элементы модуля СВС-ГИС	119
Рисунок 7.4. Трубопроводы и места водозабора поставщиков воды в Германии	120
Рисунок 7.5. Построение буферных зон в ГИС	121
Рисунок 7.6. Интерполяция методом кригинга в ГИС (универсальный кригинг с линейным дрейфом, расстояние поиска — 1500 м)	122
Рисунок 7.7. Структура системы водоснабжения в виде слоев ГИС	123
Рисунок 7.8. Распространенность лямблиоза среди обследованных школьников	124
Рисунок 7.9. Заболеваемость лямблиозом среди обследованных школьников	125

Предисловие

Значительное влияние болезней, связанных с водой, на здоровье человека признавалось важной угрозой устойчивому развитию человека на ряде международных форумов, включая «Цели развития тысячелетия», Всемирную встречу на высшем уровне по устойчивому развитию (Йоханнесбург, 26 августа — 4 сентября 2002 г.), третий Всемирный водный форум (Киото, Шига и Осака, Япония, март 2003 г.), конференцию «Окружающая среда для Европы», форум «Чистая вода» (Душанбе, Таджикистан, 29 августа — 1 сентября 2003 г.) и другие. В рамках Европейского региона ВОЗ большинство государств — членов ВОЗ дали обязательство вести координированную борьбу с болезнями, связанными с водой, путем соблюдения «Протокола по проблемам воды и здоровья» к «Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер» 1992 г.

После вступления в силу в 2005 г. «Протокола по проблемам воды и здоровья» и первого Совещания Сторон в 2007 г. было принято решение сконцентрировать внимание на двух группах болезней, связанных с водой. Первую составили те, которые характеризуются высоким риском возникновения эпидемий: холера, инфекции, вызванные энтерогеморрагическими штаммами *Escherichia coli*, гепатит А, дизентерия и брюшной тиф. Во вторую группу вошли болезни, которые вызывают в регионе все большую угрозу здоровью населения: кампилобактериоз, криптоспоридиоз, лямблиоз и легионеллез. Кроме того, отдельные болезни, например гельминтозы, имеют важное значение на местном уровне.

В соответствии с комплексным подходом, увязывающим водоснабжение с проблемами здоровья, в настоящем руководстве делается обзор основных угроз здоровью, связанных с водой, приводятся краткие сведения по эпидемиологии и эпидемиологическому надзору, а также даются рекомендации по управлению данными и их анализу.

Настоящий документ окажет поддержку отдельным государствам в их деятельности, направленной на достижение национальной и международной безопасности в области здоровья, в соответствии с «Международными медико-санитарными правилами» (2005 г.), которые вступили в силу 15 июня 2007 г. Кроме того, он вносит свою лепту в осуществление Таллиннской хартии «Системы здравоохранения для здоровья и благосостояния» (Европейская министерская конференция ВОЗ по системам здравоохранения «Системы здравоохранения, здоровье и благосостояние», Таллинн, Эстония, 27 июня 2008 г.), особенно в отношении обеспечения «целостного подхода к службам здравоохранения, включая санитарно-гигиеническую пропаганду, профилактику заболеваний и комплексные программы борьбы с болезнями, а также координацию различных поставщиков услуг, институтов и учреждений». Настоящий документ также придерживается рекомендаций ВОЗ (WHO, 2008) по использованию комплексного подхода к оценке риска и управления риском — так называемого «плана по обеспечению безопасности воды» (ПОБВ) — как основы для непрерывного снабжения безопасной водой.

Подготовке документа способствовала инициатива ВОЗ в области здравоохранения по эпидемиологическому надзору за болезнями, связанными с водой, в Центральной Азии, с которой выступил Сотрудничающий центр ВОЗ по управлению водными ресурсами в целях укрепления здоровья и оценки риска (Боннский университет, Герма-

ния). Были приложены все усилия для учета результатов этой инициативы, с тем чтобы рекомендации, изложенные в данном документе, подходили для всех стран региона, имеющих различные возможности для эпидемиологического надзора и выявления вспышек заболеваний.

Документ подготовлен Рабочей группой по эпидемиологическому надзору за болезнями, связанными с водой, под руководством Высшего института здравоохранения (Италия) и при поддержке Объединенного секретариата.

Благодарности

Настоящее техническое руководство — результат объединения официальных данных и отчетов, опубликованных в официальных источниках. Подготовка руководства была бы невозможна без поддержки Сотрудничающего центра ВОЗ по управлению водными ресурсами в целях укрепления здоровья и оценки риска (Боннский университет, Германия), особенно без его усилий по осуществлению инициативы ВОЗ в области здравоохранения по эпидемиологическому надзору за болезнями, связанными с водой, в Центральной Азии и выполнения последующих работ при подготовке данного проекта. Региональное европейское бюро ВОЗ благодарно за участие следующим лицам.

- Д. Акгаев, Департамент государственного надзора и сертификации пищевых продуктов, Ашхабад, Туркменистан.
- Н. Вашнева, Государственный санитарно-эпидемиологический надзор, Бишкек, Кыргызстан.
- С. К. Давлятов, Областная санитарно-эпидемиологическая станция г. Куляв, Душанбе, Таджикистан.
- Ю. Ишанкулиев, Министерство здравоохранения и медицинской промышленности, Ашхабад, Туркменистан.
- О. Мишина, Республиканский центр санитарно-эпидемиологической инспекции, Ташкент, Узбекистан.
- Н. Хайтбаев, Министерство здравоохранения, Душанбе, Таджикистан.
- Н. В. Шарипова, Республиканский центр санитарно-эпидемиологической инспекции, Ташкент, Узбекистан.
- М. Blasi, Высший институт здравоохранения, Рим, Италия.
- Т. Classen, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.
- А. А. Cronin, Центр Робенса по проблемам здравоохранения и гигиены окружающей среды, Университет графства Суррей, Гилдфорд, Соединенное Королевство.
- F. Dangendorf, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия (ныне покойный).
- М. Exner, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.
- E. Funari, Высший институт здравоохранения, Рим, Италия.
- S. Herbst, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.
- M. Kadar, Национальный институт гигиены окружающей среды, Будапешт, Венгрия.
- T. Kistemann, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.
- A. Loock, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.
- С. Мое, Школа здравоохранения Роллинса, Университет Эмори, Атланта, США.
- K. Pond, Центр Робенса по проблемам здравоохранения и гигиены окружающей среды, Университет графства Суррей, Гилдфорд, Соединенное Королевство.
- A. Queste, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.
- D. Schoenen, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

- I. Wienand, Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

Редактирование англоязычной версии осуществила Kathy Pond из Центра Робенса по проблемам здравоохранения и гигиены окружающей среды Университета графства Суррей, техническое редактирование выполнила Ana Isabel Guerreiro. Неоценимую библиографическую поддержку оказали Andrea Rechenburg из Сотрудничающего центра ВОЗ по управлению водными ресурсами в целях укрепления здоровья и оценки риска и Bruce Gordon из штаб-квартиры ВОЗ.

Ряд ученых выступили рецензентами и сделали ценные замечания. Будучи не в состоянии перечислить всех участников, мы хотели бы особо отметить: доктора Sébastien Fiegers из Научного института здравоохранения Бельгийского федерального правительства, Бельгия; доктора Susanne Herbst, доктора Andrea Rechenburg, Yvonne Walz и профессора Thomas Kistemann из Сотрудничающего центра ВОЗ по управлению водными ресурсами в целях укрепления здоровья и оценки риска, Боннский университет, Германия; доктора Frantisek Kozisek из Национального института здравоохранения, Чешская Республика; доктора Mihaly Kadar из Национального института гигиены окружающей среды, Венгрия; доктора Enzo Funari из Высшего института здравоохранения, Италия.

Европейское региональное бюро ВОЗ выражает благодарность Экономической комиссии ООН для Европы (ЭКЕ) за финансирование работ, которые привели к созданию настоящей публикации.

Список сокращений

ВИЧ	вирус иммунодефицита человека
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ГИС	географическая информационная система
ГУС	гемолитико-уремический синдром
НЕМ	нефелометрическая единица мутности
ООН	Организация Объединенных Наций
ПОБВ	план по обеспечению безопасности воды
СВС	структура водоснабжения
СПИД	синдром приобретенного иммунодефицита
ВМАА	β -N-метиламино-L-аланин
CDC	Центры контроля и профилактики заболеваний (США)
LO(A)EL	минимальная доза, вызывающая видимые (неблагоприятные) эффекты
NOAEL	доза, не вызывающая видимых неблагоприятных эффектов

1. Введение

Основной автор: Martin Exner

С помощью мероприятий в области водоснабжения и санитарии в мире ежегодно можно предотвратить более 30 млн случаев болезней, связанных с водой. Инвестирования в водоснабжение и санитарии оказались намного более выгодными, чем те, что непосредственно относятся к лечению болезней, связанных с водой (Bartram, 2002).

Желудочно-кишечные инфекции являются одной из основных причин заболеваемости и смертности детей. По оценкам, в развивающихся странах среди детей младше 5 лет на одного ребенка в год в среднем приходится 3,2 случая диарейных болезней (Kosek, Bern & Guerrant, 2003). В первые 5 лет жизни в результате диарейных болезней ежегодно умирают 4,9 из 1000 детей. В Европейском регионе ВОЗ (рис. 1.1) существуют явные различия в смертности от диарейных болезней между регионами EUR-A, EUR-B и EUR-C¹. На рис. 1.2 приведены стандартизованные показатели смертности детей младше 5 лет от диарейных болезней в регионах EUR-A и взятых вместе регионах EUR-B и EUR-C.

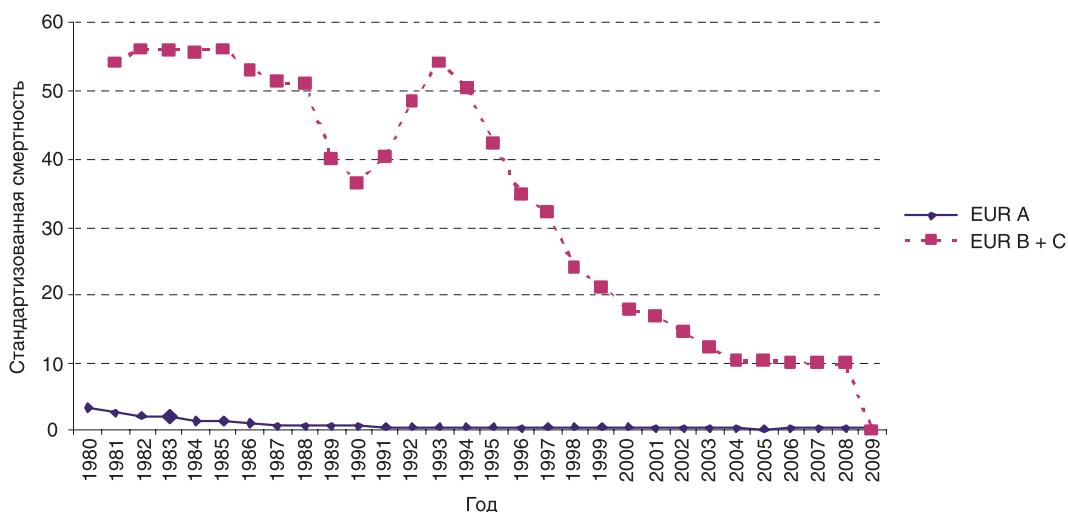
Рисунок 1.1. Европейский регион ВОЗ



¹ По смертности Европейский регион ВОЗ делится на подрегионы следующим образом:

- EUR-A: Австрия, Андорра, Бельгия, Германия, Греция, Дания, Израиль, Ирландия, Исландия, Испания, Италия, Кипр, Люксембург, Мальта, Монако, Нидерланды, Норвегия, Португалия, Сан-Марино, Словения, Соединенное Королевство, Финляндия, Франция, Хорватия, Чешская Республика, Швейцария, Швеция.
- EUR-B: Азербайджан, Албания, Армения, Болгария, Босния и Герцеговина, бывшая югославская Республика Македония, Грузия, Кыргызстан, Польша, Румыния, Сербия, Словакия, Таджикистан, Туркменистан, Турция, Узбекистан, Черногория.
- EUR-C: Беларусь, Венгрия, Казахстан, Латвия, Литва, Республика Молдова, Российская Федерация, Украина, Эстония.

Рисунок 1.2. Стандартизованные показатели смертности от диарейных болезней для детей в возрасте до 5 лет



Источник: База данных ВОЗ «Здоровье для всех», 2010 г.

Данные о смертности действительно впечатляют, однако данные о заболеваемости указывают на то, что связанные с водой болезни продолжают оставаться серьезной проблемой, препятствующей устойчивому развитию Европейского региона и влекущей недопустимо высокие финансовые расходы.

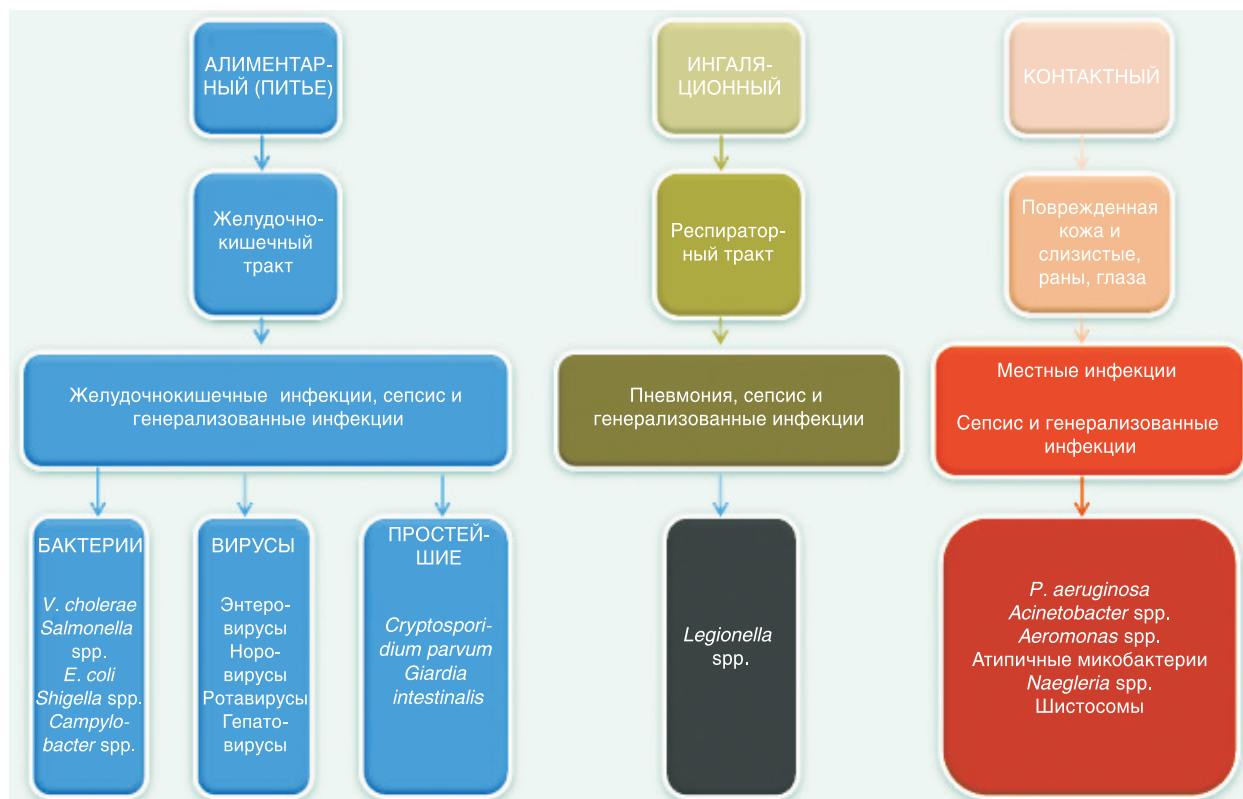
Передающиеся через воду болезни, которые с большой вероятностью могут привести к эпидемиям, — такие, как холера, — взяты под контроль благодаря деятельности Джона Сноу (Snow, 1854), Филиппо Пачини (Pacini, 1854), Роберта Коха (Koch, 1883) и других ученых. Такие болезни, как гепатит А, брюшной тиф и паратифы, дизентерия и инфекции, вызванные *Escherichia coli*, все еще остаются серьезной угрозой здоровью населения во многих странах региона; постоянной настороженности требуют и случаи холеры, местные или привозные.

С конца 1980-х гг. особенно важной проблемой стали появляющиеся в питьевой воде патогенные микроорганизмы. Недавно выявленные и вновь появившиеся патогенные микроорганизмы, обитающие в воде, включают *Campylobacter spp.*, энтерогеморрагические штаммы *E. coli*, *Yersinia enterocolitica*, энтеровирусы, в частности ротавирусы и норовирусы, и паразитов *Cryptosporidium parvum* и *Giardia lamblia*. Эти патогенные микроорганизмы, развивающиеся в питьевой воде, привели к новым требованиям, предъявляемым к гигиене питьевой воды, даже в тех странах, которые достигли высоких стандартов обработки воды за последние 20 лет.

В зависимости от пути передачи патогенные микроорганизмы, передаваемые через воду, могут быть подразделены на передаваемые алиментарным, ингаляционным и контактным путем. Примером ингаляционной передачи является инфицирование *Legionella spp.* Пути передачи некоторых патогенных микроорганизмов представлены на рис. 1.3. Важно различать инфекции, передаваемые алиментарным и ингаляционным путем.

Таким образом, системы здравоохранения в Европейском регионе ВОЗ сталкиваются с важными проблемами, в первую очередь — с сокращением бремени эндемиче-

Рисунок 1.3. Пути передачи



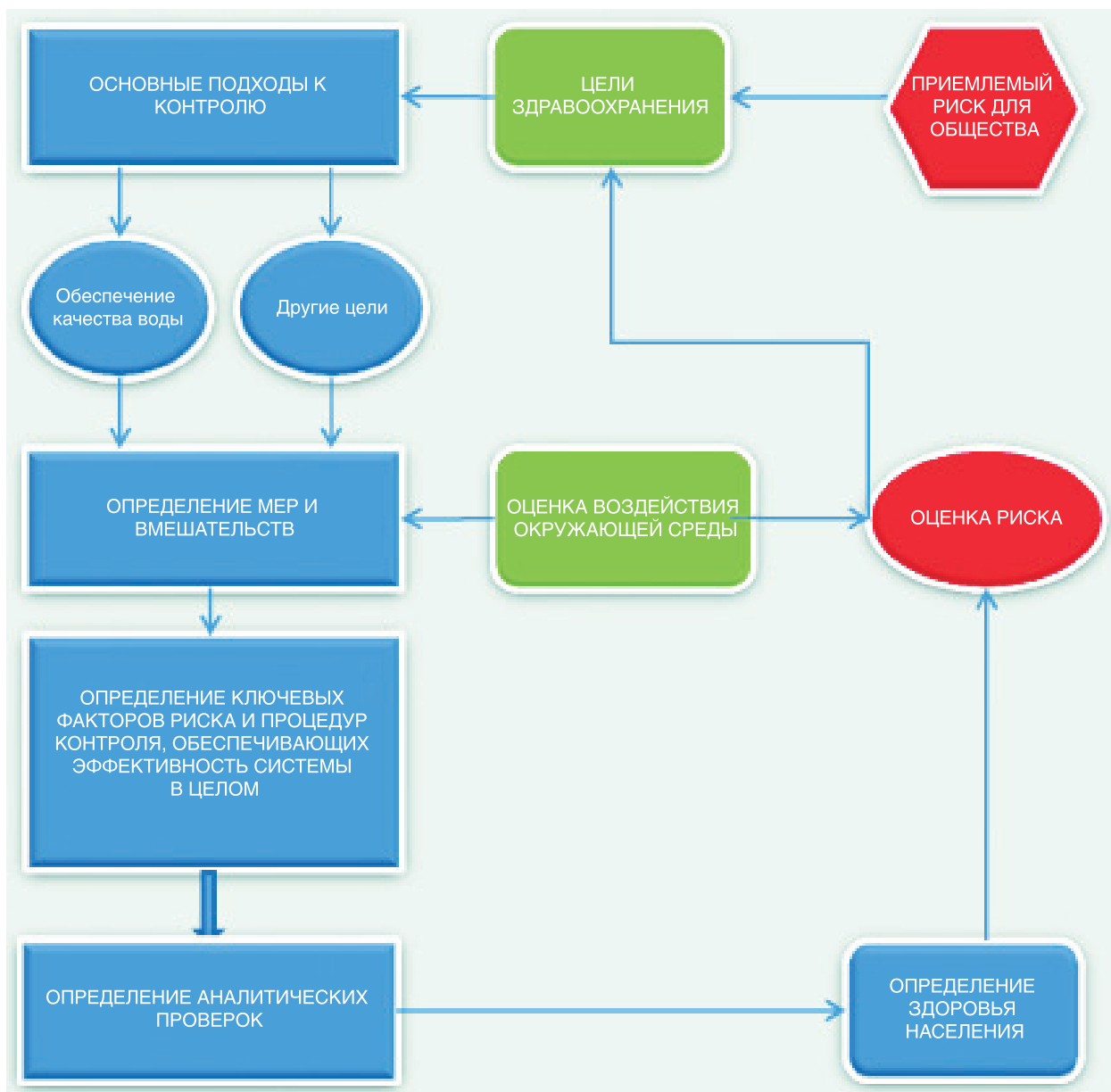
Источник: WHO, 2004.

ских болезней, связанных с водоснабжением и санитарией. Специалисты в области здравоохранения должны быть подготовлены к вспышкам заболеваний и иметь планы действий в непредвиденных ситуациях, составленные с учетом новейших эпидемиологических данных. Эти проблемы особенно велики в восточной части региона, где первоочередной задачей является укрепление первичной медико-санитарной помощи.

Для того чтобы уменьшить в Европе бремя болезней, связанных с водой, необходимо активное вовлечение всех заинтересованных сторон. Особенно важно укрепление связей между службами здравоохранения и организациями, занимающимися производством и распределением питьевой воды. Связи между ними показаны на рис. 1.4, где представлена схема обеспечения безопасности питьевой воды.

Первичная медико-санитарная помощь обеспечивает комплексный подход к охране здоровья, что делает профилактику такой же важной, как лечение. Он нацелен на интеграцию здравоохранения во все сектора, придерживается моделей сотрудничества, основанных на политическом диалоге, и увеличивает участие заинтересованных сторон. Чтобы способствовать сотрудничеству различных заинтересованных лиц, вовлеченных в обеспечение безопасности питьевой воды, необходимо усилить понимание службами первичной медико-санитарной помощи подхода, которого придерживаются предприятия водоснабжения в своих попытках обеспечить безопасность воды, а предприятиями водоснабжения и другими посредниками — методов и подходов, которых придерживаются службы (первичной) медико-санитарной помощи.

Рисунок 1.4. Схема обеспечения безопасности питьевой воды



Источник: Bartram, Fewtrell & Stenström, 2001.

В первом разделе настоящего руководства приведена основная информация о патогенных микроорганизмах, связанных с водой, и химических загрязнителях.

Во втором разделе приводятся факторы риска, влияющие на качество питьевой воды на разных уровнях (начиная от источников воды, ее обработки и распределения до поступления к конечному потребителю), а также меры, принимаемые предприятиями водоснабжения для уменьшения риска путем использования многобарьерной защиты. Для комплексного подхода к оценке рисков и управления ими вновь рассмотрены планы по обеспечению безопасности воды, рекомендованные ВОЗ в 3-м издании «Руководства по обеспечению качества питьевой воды» (ПОБВ). Данный раздел призван помочь службам здравоохранения глубже понять основной подход к безопасности воды с точки зрения предприятия водоснабжения, точно определить роль систем (первичной) меди-

ко-санитарной помощи (до настоящего времени не определенную законодательно) и плодотворно взаимодействовать с предприятиями водоснабжения и другими заинтересованными лицами, особенно с теми, кто занимается управлением в области окружающей среды.

В третьем разделе руководства основное внимание уделено особенностям решения проблем здравоохранения в области надзора за болезнями, связанными с водой. Надзор за инфекционными болезнями, передаваемыми через питьевую воду, отличается от обычных систем надзора, прежде всего, интеграцией данных, касающихся питьевого водоснабжения, в систему эпидемиологического надзора. Орган надзора должен иметь полномочия определять, обязан ли поставщик воды концентрировать внимание на решении проблем, касающихся охраны здоровья (в ряде случаев это может привести к вовлечению службы водоснабжения в мониторинг вспышек болезней, связанных с водой, в пределах района обслуживания), и выполняет ли он свои обязательства. Это способствует реализации многосекторного подхода (WHO, 2006).

С целью поддержки многосекторного подхода в руководстве описаны основные эпидемиологические понятия и теоретические модели, связанные со специфическими проблемами надзора за болезнями, передаваемыми через воду. Даются рекомендации по грамотной разработке программ надзора, включая исследования с целью выявления и оценки факторов риска, связанных с питьевой водой. Предлагаются рекомендации по созданию национальных систем надзора и управлению ими, а также по управлению данными и информацией. Приведены также руководящие указания по оценке существующих систем надзора и возможности их улучшения.

Системы первичной медико-санитарной помощи в Европейском регионе ВОЗ сталкиваются с различными проблемами и имеют различные возможности. Эти различия мы старались принимать во внимание. Надеемся, что данное руководство поможет всем заинтересованным лицам, в частности руководящим работникам, специалистам в области здравоохранения и менеджерам предприятий водоснабжения, выработать общий курс действий по сокращению бремени болезней, связанных с водой, в Европейском регионе ВОЗ в соответствии с положениями «Протокола по проблемам воды и здоровья» к «Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер» 1992 г.

2. Факторы риска для здоровья, связанные с патогенными микроорганизмами

Основные авторы: Friederike Dangendorf и Dirk Schoenen

2.1. Определения

2.1.1. Юридические определения

«Протокол по проблемам воды и здоровья» определяет «болезни, связанные с водой» как «любые значительные неблагоприятные последствия для здоровья человека, такие как смерть, нетрудоспособность, болезнь или расстройство, прямо или косвенно вызванные состоянием или изменением количества и качества любых вод».

«Питьевая вода» — это «вода, которая используется или предназначена для использования человеком в качестве питьевой воды, для обработки и приготовления пищи, для личной гигиены или в аналогичных целях».

«Грунтовые воды» — это «любые воды, находящиеся ниже поверхности земли в зоне впитывания и в непосредственном контакте с почвой или подпочвой».

«Поверхностные воды» — это все воды, открытые атмосфере, включая реки, озера, водохранилища, ручьи, пруды, моря, дельты рек и т. д. Термин также охватывает родники, колодцы и другие скопления воды, на которые непосредственно влияют поверхностные воды.

«Система водоснабжения» означает «систему обеспечения питьевой водой ряда домашних хозяйств или предприятий...».

«План управления водохозяйственной деятельностью» означает план освоения, эксплуатации, охраны и (или) использования воды в пределах какой-либо территории или водоносного горизонта, включая охрану соответствующих экосистем.

2.1.2. Эпидемиологические определения

Болезни, связанные с водой, делятся на пять основных групп (согласно Bradley, 1974).

- **Болезни, передаваемые через воду**, возникают при употреблении внутрь воды, загрязненной фекалиями. Холера и брюшной тиф — классические примеры болезней, передаваемых через воду. Чтобы вызвать тяжелую диарею, достаточно всего нескольких высокоинфективных микроорганизмов. Шигеллез, гепатит А, амёбная дизентерия и другие желудочно-кишечные болезни также могут передаваться через воду.
- **Болезни, связанные с мытьем (гигиеной)**, обусловлены отсутствием качественной воды для мытья, купания и уборки. Патогенные микроорганизмы передаются от человека к человеку или при контакте с загрязненными поверхностями. В таких условиях возникают инфекции глаз и кожи, а также диарейные болезни. Через воду передаются бактерии, вирусы, простейшие и гельминты. Краткий список наи-

более важных патогенных микроорганизмов и их значение для водоснабжения приведены ниже в табл. 2.1.

- **Болезни, связанные с недостатком воды**, возникают от недостатка воды для мытья, купания и уборки. Патогенные микроорганизмы передаются от человека к человеку, при контакте с загрязненными поверхностями, а также фекально-оральным путем. В таких условиях возникают, в частности, инфекции глаз (трахома), кожи (чесотка), а также диарейные болезни.
- **Аквагенные болезни** вызываются паразитами, в частности различными видами гельминтов, которые проводят часть своего жизненного цикла в различных хозяевах. Один цикл развития они проводят в водных моллюсках, другой, как взрослые паразиты, в другом хозяине — животном или человеке. Поскольку излюбленным местом обитания паразитов служат застойные поверхностные воды, например водохранилища, на возникновение этих болезней — таких, как дракункулез и шистоматоз, — значительно влияет антропогенная деятельность.
- **Трансмиссивные болезни** вызываются укусами насекомых, размножающихся в воде. Насекомые-переносчики, например комары, переносят малярию, чикунгунью и другие заболевания.

Таблица 2.1. Патогенные микроорганизмы, передаваемые через воду, и их значение для водоснабжения

Микроорганизм	Опасность для здоровья	Пребывание в системах водоснабжения	Устойчивость к хлору	Относительная инфективность	Животное – источник заражения
Бактерии					
<i>Campylobacter jejuni</i> , <i>C. coli</i>	Высокая	Умеренное	Низкая	Умеренная	Есть
<i>Escherichia coli</i> – патогенные штаммы	Высокая	Умеренное	Низкая	Низкая	Есть
<i>E. coli</i> – энтерогеморрагические штаммы	Высокая	Умеренное	Низкая	Высокая	Есть
<i>Legionella</i> spp.	Высокая	Размножается	Низкая	Умеренная	Нет
<i>Salmonella typhi</i>	Высокая	Умеренное	Низкая	Низкая	Нет
Другие виды <i>Salmonella</i>	Высокая	Может размножаться	Низкая	Низкая	Есть
<i>Shigella</i> spp.	Высокая	Кратковременное	Низкая	Умеренная	Нет
<i>Vibrio cholerae</i>	Высокая	Кратковременное	Низкая	Низкая	Нет
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Высокая	Длительное	Низкая	Низкая	Есть
Вирусы					
Аденовирусы	Высокая	Длительное	Умеренная	Высокая	Нет
Энтеровирусы	Высокая	Длительное	Умеренная	Высокая	Нет
Гепатит А	Высокая	Длительное	Умеренная	Высокая	Нет
Гепатит Е	Высокая	Длительное	Умеренная	Высокая	Возможно
Норовирусы и саповирусы	Высокая	Длительное	Умеренная	Высокая	Возможно
Ротавирусы	Высокая	Длительное	Умеренная	Высокая	Нет

Микроорганизм	Опасность для здоровья	Пребывание в системах водоснабжения	Устойчивость к хлору	Относительная инфективность	Животное – источник заражения
Простейшие					
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Высокая	Длительное	Высокая	Высокая	Есть
<i>Entamoeba histolytica</i>	Высокая	Умеренное	Высокая	Высокая	Нет
<i>Giardia intestinalis</i>	Высокая	Умеренное	Высокая	Высокая	Есть
Гельминты					
<i>Dracunculus medinensis</i>	Высокая	Умеренное	Умеренная	Высокая	Нет
<i>Schistosoma</i> spp.	Высокая	Кратковременное	Умеренная	Высокая	Есть

Источник: WHO 2004 (с. 122).

Для того чтобы оценить факторы риска для здоровья, связанные с патогенными для человека микроорганизмами, которые передаются через воду, необходимо понять их экологию и эпидемиологию. В настоящей главе детально описываются экология и эпидемиология некоторых наиболее важных инфекционных болезней, связанных с водой.

2.2. Диарея

Диарея (понос) встречается во всем мире и вызывает 4% всех случаев смерти и 5% случаев нетрудоспособности². Поносом называют отхождение неоформленного или жидкого стула чаще, чем в норме. В первую очередь это симптом желудочно-кишечной инфекции. В зависимости от типа инфекции понос может быть водянистым (например, при холере) или кровавистым (например, при дизентерии). В Европейском регионе причины многих случаев диареи остаются невыявленными, особенно если понос проходит самостоятельно. При регистрации используется термин «диарейная болезнь неизвестной этиологии». Наиболее часто причиной служат желудочно-кишечные инфекции. Холера и бактериальная дизентерия приводят к тяжелым формам диареи, иногда угрожающим жизни.

Диарея, вызванная инфекцией, может длиться несколько дней или недель (персистирующая диарея). Тяжелая диарея может угрожать жизни из-за потери жидкости с калом, особенно у младенцев и детей раннего возраста, людей с недостаточностью питания и с нарушенным иммунитетом. Влияние повторяющейся и персистирующей диареи на питание, а также влияние недостаточности питания на переносимость инфекционной диареи могут образовывать порочный круг у детей, особенно в развивающихся странах.

Диарея является симптомом инфекции, вызванной бактериями, вирусами или простейшими, большинство из которых могут распространяться через загрязненную воду. Наиболее часто она встречается в местах с недостатком чистой воды для питья, приготовления пищи и уборки. Для ее профилактики важно соблюдать гигиену.

Диарея встречается и при других болезнях, например при малярии. Химическое раздражение кишечника (например, сульфатом магния или медью) и неинфекционные заболевания пищеварительного тракта также могут привести к диарее.

² Информационный бюллетень ВОЗ (http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diarrhoea/en/; последнее обращение 11 ноября 2008 г.).

Загрязнение воды фекалиями человека (например, из канализации, отстойников и отхожих мест) заслуживает особого внимания. Фекалии животных также содержат микроорганизмы, которые могут вызвать диарею.

Диарея может передаваться от человека к человеку, особенно при плохой личной гигиене. В результате ирригации вода может загрязнять продукты питания. Рыба и морепродукты из загрязненной воды тоже могут стать причиной болезни.

2.3. Патогенные бактерии

2.3.1. Краткая историческая справка

Первые гигиенические и микробиологические требования к питьевой воде были сформулированы Френкелем (Frankel, 1887) на основе подсчета колоний микроорганизмов в водоемах окрестностей Берлина. Его исследования показали, что в грунтовых водах число колоний составляет 0 на 1 мл, в исключительных случаях — 10 на 1 мл. Эти воды безопасны в инфекционном отношении. Френкель предложил, чтобы в качестве требования к питьевой воде выступала микробиологическая чистота грунтовых вод. В 1892 г., до вступления этого требования в силу, в Гамбурге разразилась эпидемия холеры, во время которой 8605 человек умерли и 16 956 заболели (Koch, 1893). В ту пору воду в Гамбурге брали из Эльбы и поставляли населению без какой-либо обработки. Других способов обеззараживания питьевой воды, кроме кипячения, тогда не было. Единственным технологическим средством улучшения качества воды была фильтрация.

В Альтоне (которая сейчас является частью Гамбурга, а во время эпидемии была отдельным городом) эпидемия не разразилась, несмотря на то что воду для этого города брали из значительно менее благоприятного места — ниже по течению от Гамбурга. Однако ее обрабатывали медленной фильтрацией через песочный фильтр и проверяли на наличие микроорганизмов. Основываясь на этих наблюдениях, Роберт Кох (Koch, 1893) выдвинул два следующих требования: 1) поверхностные воды, которые будут использоваться в качестве питьевой воды, должны быть соответствующим образом очищены; 2) количество колоний микроорганизмов после обработки не должно превышать 100 на 1 мл. Количество колоний ниже 10 на 1 мл, требуемое Френкелем (Frankel, 1887), не может быть достигнуто при медленной фильтрации через песочный фильтр. Предельно допустимое количество колоний — 100 на 1 мл — было введено как критерий для оценки эффективности фильтрации, но не как фактор риска для здоровья. Вышеприведенные требования Роберта Коха были опубликованы в 1894 г., а в 1899 г. стали в Германии узаконенной нормой.

В последующем подсчет числа колоний микроорганизмов постепенно потерял свою роль в качестве оценочного метода и было заменен на определение *E. coli*, колиформных бактерий и других показателей фекального загрязнения. Однако это произошло не в результате попытки усилить требования к качеству питьевой воды, а потому, что подсчет числа колоний оказался слишком жестким оценочным методом. Доводом являлось то, что подсчет числа колоний для оценки качества воды исключит некоторые источники из системы обеспечения питьевой водой, несмотря на то что в них отсутствуют патогенные микроорганизмы, или предъявит слишком высокие требования к обработке воды.

2.3.2. Холера

Фекальное загрязнение питьевой воды все еще служит самой важной причиной вспышек холеры во многих странах мира, особенно в критических ситуациях, таких как стихийные бедствия, массовая миграция, военные действия, а также в лагерях беженцев. Эпидемии холеры возникают из-за недостаточной гигиены и санитарии (Exner, 1996).

Vibrio cholerae — граммотрицательная бактерия, классический возбудитель холеры. Известно 139 различных серогрупп *V. cholerae*, из которых O1 и O139 являются патогенными. *V. cholerae* серогруппы O1 помимо классического биотипа (cholerae) включает биотип Эль-Тор (eltor) и его гемолитический вариант, которые к настоящему времени вытеснили классического возбудителя. В 1992 г. в Индии и Бангладеш был впервые выявлен серотип O139. В 1991 г. эпидемия холеры произошла в Латинской Америке, после столетнего отсутствия заболевания. В течение двух лет холера распространилась от Перу до Мексики. Эти эпидемии холеры продемонстрировали современному обществу возможность распространения патогенного микроорганизма во всемирном масштабе.

О привозных случаях заболевания, связанных с перемещением населения, сообщалось в США, Японии и Европе (Chin, 2000). Во всех странах Европейского Союза тоже нередко регистрируются случаи холеры, основная часть которых завозится возвращающимися туристами.

Возбудитель поступает в кишечник пероральным путем, заселяет слизистую оболочку и продуцирует энтеротоксин, что приводит к обезвоживанию организма и потере электролитов. Инфицирующая доза для холерного вибриона относительно высока; инкубационный период короток, обычно 1–5 дней.

Холера — это острая кишечная инфекция, которая начинается остро, с безболезненного водянистого поноса, тошноты и рвоты. Основным симптом — бесцветный стул, испражнения внешне напоминают рисовый отвар. В тяжелых случаях наблюдается внезапный профузный понос. В связи с массивными потерями жидкости, дегидратацией и метаболическим ацидозом смерть может наступить в течение нескольких часов или дней. Без лечения смертность в тяжелых случаях высока (50%). Особому риску подвержены дети раннего возраста. При своевременном и адекватном лечении смертность может быть снижена до 1%.

V. cholerae обитает в водной среде, где его существование тесно связано с определенными видами водорослей или зоопланктона, которые служат резервуаром, и может попасть на продукты питания, выращиваемые на загрязненных территориях.

В районах с плохой гигиеной и санитарией, близкими поверхностными водами, высокой плотностью населения и высокой абсолютной влажностью холера остается распространенным заболеванием.

2.3.3. Брюшной тиф

Возбудитель брюшного тифа — *Salmonella typhi* — обладает энтеропатогенными свойствами. Как и другие виды *Salmonella*, он относится к семейству Enterobacteriaceae и является граммотрицательной факультативно-анаэробной бактерией. Современная классифика-

ция *Salmonella* spp., основанная на строении ДНК, делит их на различные серотипы. Для человека патогенны серотипы *S. typhi*, *S. paratyphi*, *S. enteritidis* и *S. typhimurium*, которые вызывают кишечные инфекции и гастроэнтерит (Miller & Pegues, 2000; Chin, 2000).

Симптомы инфекции могут быть легкими или тяжелыми; они включают в себя постоянную высокую лихорадку (39–40°C), недомогание, анорексию, головную боль, запор или понос, розеолезную сыпь на груди, увеличение селезенки и печени. У большинства людей симптомы появляются через 1–3 недели после заражения. Паратифы обычно протекают легче, чем тиф (Chin, 2000).

Инкубационный период зависит от инфицирующей дозы и составляет от 3 дней до 1 месяца. При паратифах он длится 1–10 дней. *S. typhi* и *S. paratyphi* обитают только в человеческом организме. Наиболее важными источниками инфекции являются инфицированные экскременты и сточные воды.

Возбудитель может передаваться от человека к человеку при непосредственном контакте либо алиментарным путем через загрязненную фекалиями пищу и питьевую воду. Важным источником в ряде стран являются моллюски, собранные в загрязненных сточными водами местах, сырые фрукты, овощи, загрязненное молоко и молочные продукты (Chin, 2000).

S. typhi обнаружена в воде и сточных водах. Персистирование в водоисточниках умеренное; время выживания *Salmonella* spp. в питьевой воде составляет от нескольких дней до 100 дней и более. Устойчивость к хлору низкая. Основная причина связанных с водой вспышек болезни — фекальное загрязнение грунтовых и поверхностных вод и ее недостаточное обеззараживание (WHO, 2004).

Болезнь более распространена в развивающихся странах, в том числе в Азии, тем не менее недавно сообщалось о ее вспышках в Восточной Европе, например в Душанбе (Таджикистан). В феврале 1997 г. в Душанбе внезапно увеличилась заболеваемость брюшным тифом: в течение двух недель было зарегистрировано около 2000 случаев (Centers for Disease Control and Prevention, 1998).

Наибольшему риску инфицирования *S. typhi* подвержены дети в эндемических районах в связи с отсутствием у них приобретенного иммунитета. Вспышки брюшного тифа в развивающихся странах могут привести к высокой заболеваемости и смертности, особенно если болезнь вызвана штаммами, устойчивыми к антибиотикам.

2.3.4. Шигеллез

Шигеллез, или бактериальная дизентерия, — острая бактериальная инфекция, характеризующаяся кровянистым поносом. *Shigella* spp. — маленькие грамотрицательные бактерии, относящиеся к семейству Enterobacteriaceae. Род *Shigella* включает в себя 4 вида: *S. dysenteriae*, *S. flexneri*, *S. boydii* и *S. sonnei*. Бактериальная дизентерия — самая контагиозная инфекция из бактериальных энтеритов. Ее симптомы включают в себя лихорадку, тошноту, рвоту, боль в животе и тенезмы. Встречаются легкие и бессимптомные случаи. Болезнь обычно продолжается 4–7 дней и проходит самостоятельно. Инкубационный период при заражении любым видом *Shigella* длится 1–7 дней (Dupont, 2000; Gleeson & Gray, 1997).

Тяжесть инфекции зависит от вида возбудителя и самого заболевшего. У детей чаще наблюдаются осложнения. *S. dysenteriae* серотипа 1 (бактерии, продуцирующие токсин Шиги) часто вызывают тяжелое заболевание с осложнениями, которые включают в себя гемолитически-уремический синдром (ГУС) (Chin, 2000). *S. sonnei* вызывает более легкое заболевание.

Возбудитель обычно присутствует в фекалиях больного в концентрации от 10^3 до 10^9 на 1 г. Исследования с участием добровольцев продемонстрировали, что у здоровых взрослых болезнь могут вызвать менее 200 жизнеспособных клеток (Dupont, 2000). Шигеллез передается от человека к человеку в основном контактным путем, особенно среди детей в условиях скученности (школы, детские сады).

Шигеллез — проблема для здравоохранения как развивающихся, так и развитых стран. Инфекция широко распространена в странах Восточного Средиземноморья, пик заболеваемости приходится на теплое время года. В развивающихся странах на заболеваемость влияют доступность воды и изменения гигиенических привычек населения.

Связанные с водой вспышки болезни чаще всего обусловлены фекальным загрязнением питьевой воды. Эпидемии шигеллеза, передаваемого через воду, обычно вспыхивают в связи с загрязнением водоисточников фекалиями или сбросами сточных вод вблизи от мест водозабора и купания. Благодаря низкой устойчивости бактерий к хлору хлорирование воды служит эффективной мерой профилактики (WHO, 2004; Dupont, 2000).

2.3.5. Кампилобактериоз

Кампилобактериоз — широко распространенная в мире зоонозная кишечная инфекция (передаваемая человеку от животных или через продукты животного происхождения), вызываемая грамотрицательными бактериями *Campylobacter* spp. Это микроаэрофильные бактерии. Из нескольких видов *Campylobacter* для человека патогенны *C. jejuni* и, в меньшей степени, *C. coli*.

Для острого кампилобактериоза характерны понос (часто со слизью и с кровью), кишечные колики, лихорадка, недомогание и рвота. У некоторых больных наблюдается реактивный артрит (болезненное воспаление суставов). В число редких осложнений входят фебрильные припадки (судороги, обусловленные высокой температурой) и неврологические расстройства, в частности синдром Гийена—Барре и менингит. Период от инфицирования до проявления первых симптомов составляет 2–5 дней. Инфицирующая доза колеблется от низкой до умеренной.

Campylobacter spp. часто обнаруживаются в окружающей среде; основным резервуаром этих бактерий служат птицы — дикие и домашние. Бактерии распространены среди животных, используемых в пищу, таких как домашняя птица, крупный рогатый скот, свиньи, овцы, страусы и ракообразные, а также среди домашних питомцев, включая кошек и собак. У самих животных симптомов может не быть. Таким образом, сырое молоко, непроваренные мясо домашней птицы и говядина могут быть важными источниками инфекции. *Campylobacter* spp., содержащиеся в экскрементах домашних и диких животных, а также в сточных водах, могут привести к загрязнению поверхностных вод (Medema et al., 1996). В водной среде с температурой около 4°C бактерии выживают в течение нескольких месяцев, в холодных грунтовых водах — в течение нескольких недель (Szewzyk et al., 2000).

Болезнь может передаваться непосредственно фекально-оральным путем или косвенно через загрязненную пищу и питьевую воду. *Campylobacter* spp. часто обнаруживаются в поверхностных водах. При исследовании микробного загрязнения водных потоков, питающих водохранилища питьевого назначения, на различных водосборных площадях *Campylobacter* spp. были выявлены в 36% проб проточной воды, если районы интенсивно использовались в сельскохозяйственных целях (Kistemann et al., 1998). Выживание *Campylobacter* spp. во время очистки питьевой воды изучали Feuerpfel с соавт. (Feuerpfel, Vobach & Schulze, 1997): *Campylobacter* spp. можно было выявить даже после применения обычно эффективных технологий очистки воды (флокуляция, фильтрация). *Campylobacter* spp. чувствительны к хлору и при обеззараживании питьевой воды в основном инактивируются (Lund, 1996).

Несмотря на это, питьевая вода считается распространенным источником инфекции. В развивающихся странах вспышки гастроэнтерита, вызванного *Campylobacter* spp., являются основными причинами заболеваемости и смертности детей младше двух лет. В развитых странах кампилобактериоз служит сегодня одной из самых частых причин кишечных инфекций, поэтому и в других странах ему следует уделять повышенное внимание.

2.3.6. Инфекции, вызываемые *E. coli*

Многие штаммы *Escherichia coli* входят в состав нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта человека и теплокровных животных. Так как эти бактерии присутствуют в больших количествах во всех испражнениях, *E. coli* используется как индикатор фекального загрязнения при надзоре за питьевой водой (Gleeson & Gray, 1997).

Некоторые штаммы *E. coli*, а именно энтерогеморрагические, энтероинвазивные, энтеротоксигенные и энтеропатогенные, служат возбудителем инфекций у человека и вызывают тяжелый кровавый понос (Mead & Griffin, 1998).

Энтерогеморрагические штаммы *E. coli* относятся к серотипу O157:H7. Их патогенность для человека была установлена в 1982 г. во время двух вспышек колита с кровавым поносом. Спустя год была выявлена связь между инфекцией, вызываемой энтерогеморрагическими штаммами *E. coli*, и гемолитико-уремическим синдромом (ГУС). Симптоматический комплекс ГУС включает в себя помимо прочего кровавый понос и острую почечную недостаточность, особенно часто у детей.

Инфицирующая доза низка и составляет около 10^2 бактерий. В 80% случаев инфекции наблюдается водянистый понос, в 20% к нему добавляются симптомы ГУС (Mead & Griffin, 1998; Doyle, 1990).

Основным резервуаром патогенных бактерий служат крупный рогатый скот и овцы, в меньшей степени — козы, олени, лошади, собаки, птицы и мухи. Бактерии могут выживать в жидких удобрениях, навозе и корытах для питья. Передаются они в основном через загрязненные пищевые продукты, такие как сырое молоко и говядина, а также через овощи, обработанное мясо (Söderström et al., 2005; Sartz et al. 2007) и питьевую воду. Частой причиной инфекции служат пищевые продукты, политые, вымытые или приготовленные с использованием загрязненной воды.

Болезнь может передаваться человеку при непосредственном контакте с инфицированными людьми и животными, а также при потреблении зараженной пищи и воды. Передача от человека к человеку особенно распространена в общественных местах, где люди тесно контактируют между собой, например в домах престарелых и детских садах. Риск заболевания высок у младенцев и стариков (Doyle, 1998).

Инфекция, вызванная энтерогеморрагическими штаммами *E. coli*, зарегистрирована более чем в 30 странах мира. В некоторых странах она считается сейчас третьей по частоте причиной бактериальных кишечных инфекций после сальмонеллеза и кампилобактериоза. В Канаде, США и некоторых районах Шотландии заболеваемость достигает 8 на 100 000 населения в год (Mead and Griffin, 1998).

2.3.7. Легионеллез

Болезнь легионеров была впервые описана в 1977 г. в Филадельфии (США): в гостинице, где происходил съезд Американского легиона, возникла вспышка пневмонии. Причиной стало вдыхание инфицированного воздуха из системы кондиционирования; 221 человек заболел, 34 человека умерли.

Legionella spp. вызывают две инфекции: 1) болезнь легионеров, являющуюся разновидностью пневмонии, и 2) лихорадку Понтиак — более мягкую инфекцию, похожую на грипп.

К настоящему времени в семействе *Legionellaceae* выявлено 50 видов, насчитывающих около 70 серогрупп, но в 90% случаев возбудителем инфекций у человека служит *L. pneumophila*. *Legionella* spp. — грамотрицательные аэробные бактерии, не образующие спор. Это повсеместно распространенные водные микроорганизмы, размножающиеся в теплой среде (оптимальная температура 32–45°C).

Болезнь легионеров не имеет патогномичных симптомов, она проявляется анорексией, недомоганием, головной болью и быстро нарастающей температурой. Часто наблюдаются кашель, боль в животе и диарея. Инкубационный период составляет 2–10 дней, обычно 5–6 дней, редко — до 20. Лихорадка Понтиак — это легионеллез без пневмонии, похожий на грипп (Bartram et al., 2007; Yu, 2000; Chin, 2000).

Легионеллез возникает при вдыхании инфицированных аэрозолей, образующихся в охлаждающих установках, душах, кондиционерах, системах горячего и холодного водоснабжения, спа, бассейнах, термальных водоемах, увлажнителях воздуха, водопроводах. Инфекция также передается через грунт для горшечных культур и компост, загрязненные *Legionella* spp. Недавно во Франции отмечалась передача инфекции на большие расстояния воздушно-пылевым путем (Nguyen et al., 2006). Возможен как внебольничный, так и больничный (нозокомиальный) легионеллез (Bartram, 2007). От человека к человеку инфекция не передается.

Наиболее опасны в плане заражения легионеллезом системы водоснабжения больниц, которые могут стать причиной больничных вспышек, и системы водоснабжения в загрязненных местах (гостиницы, суда, промышленные объекты), особенно когда они не содержатся соответствующим образом. Причиной инфекции могут стать и системы водоснабжения в жилых домах.

Legionella spp. устойчивы к хлору и могут выдержать процесс очистки питьевой воды. Они нашли экологическую нишу в системах водоснабжения и других технических устройствах. Эти среды обитания, созданные человеком, обеспечивают им благоприятную температуру воды, физическую защиту и питательные вещества. Для того чтобы предотвратить рост *Legionella* spp. в системах водоснабжения, температура воды должна быть либо ниже 20°C, либо выше 50°C (Szewzyk et al., 2000). В борьбе с *Legionella* spp. используют различные бактерицидные средства, ультрафиолетовое облучение, фильтрацию в месте употребления и другие методы.

2.4. Вирусные болезни – гепатит А

Гепатит — это широкий термин, обозначающий воспаление печени. Два вируса, вызывающие гепатиты (А и Е), могут передаваться через воду и пищу.

Вирус гепатита А выделяется с фекалиями и относительно устойчив в окружающей среде. При комнатной температуре инфективность сохраняется в течение нескольких недель. Вирус остается интактным после инкубации при 56°C, однако кипячение разрушает его в течение 5 минут.

Болезнь начинается остро, с лихорадки, слабости, потери аппетита, тошноты и неприятных ощущений в животе. На поздней стадии заболевания появляется желтуха.

Самый короткий инкубационный период был менее 1 недели после перорального поступления инфицирующей дозы, равной 10^8 вирусов, и менее 7 недель — после инфицирующей дозы, равной 10^1 вирусов (Feinstone & Gust, 2000).

Чем старше больной, тем тяжелее протекает гепатит А. У детей младше 6 лет наблюдаются самая легкая симптоматика или ее отсутствие. У большинства взрослых, наоборот, развиваются желтуха и другие симптомы. Данные в пользу того, что вирус гепатита А вызывает хроническое заболевание, отсутствуют. У вируса гепатита А имеется единственный серотип. Инфицированные приобретают пожизненный иммунитет к штаммам из любой части света.

Считается, что люди являются единственным резервуаром вируса гепатита А. Основной путь передачи — фекально-оральный. Инфекция передается от человека человеку через загрязненные руки или при потреблении зараженной воды и пищи. Причиной связанных с пищей вспышек болезни обычно служат салаты, фрукты, овощи, мороженое, некоторые молочные продукты и другая пища, не подвергнутая тепловой обработке. Вирус гепатита А может также передаваться через пищу, зараженную во время обработки или после обработки инфицированными поварами и другим персоналом. Вспышки гепатита А возникают также в результате инъекционного и неинъекционного употребления наркотиков. Сообщалось о вспышках болезни после потребления недостаточно обработанных моллюсков и ракообразных, то есть даже паровой обработки для разрушения вируса гепатита А недостаточно (Feinstone & Gust, 2000).

Вирус может появляться в плавательных бассейнах и прибрежных водах, используемых для купания и плавания. Источником вируса могут быть сточные воды. Вирус гепатита А может сохраняться в сточной воде, морской воде, почве, поверхностных водах и за-

пасах воды днями и месяцами. Он достаточно устойчив к свободному хлору, особенно если в воде содержатся органические вещества (WHO, 2003; Feinstone & Gust, 2000).

Гепатит А широко распространен в странах с плохими санитарно-гигиеническими условиями. Там, где эндемическая заболеваемость низкая, гепатит А обычно возникает в виде вспышек. В странах с переходной экономикой и некоторых регионах развитых стран с санитарными условиями ниже установленного стандарта, включая страны Южной и Восточной Европы, также наблюдается высокая заболеваемость гепатитом А.

Помимо вирусных гепатитов важной причиной диареи служит вирусный гастроэнтерит, и заболеваемость им, очевидно, растет, по крайней мере в Соединенном Королевстве (Hunter, 1997). Здоровью человека угрожают калицивирусы, которым свойственны относительно высокая инфективность, умеренная устойчивость к хлору и длительное персистирование в запасах воды. К калицивирусам относятся норовирусы (вирусы группы Норуолк), которые раньше называли «маленькими круглыми частицами». Ротавирусы также представляют большую опасность для здоровья, имеют относительно высокую инфективность и умеренную устойчивость к хлору (Guillot & Loret, 2010).

В то же время выявление вирусов с помощью относительно передовых технологий, таких как электронная микроскопия и твердофазный иммуноферментный анализ (ELISA), все еще находится за рамками обычных возможностей систем эпидемиологического надзора.

2.5. Протозойные болезни

2.5.1. Криптоспоридиоз

Cryptosporidium spp. относятся к простейшим. Известно несколько видов, из которых возбудителем болезней у человека в основном служит *C. parvum*.

Одноклеточный кишечный паразит (ооциста), который может вызвать тяжелую диарею, попадает в желудочно-кишечный тракт пероральным путем. Инкубационный период обычно составляет 7 дней, хотя бывает равным 528 дням. Во время болезни возбудителя выявляют не всегда, и инфицированный человек остается источником заражения для окружающих. Характерными признаками болезни являются понос, боль в животе, рвота, недомогание и лихорадка. Продолжительность и тяжесть заболевания в значительной степени зависят от состояния иммунитета пациента. У больных СПИДом криптоспоридиоз может стать хроническим и привести к смерти (Haas, Rose & Gerba, 1999).

Болезнь может передаваться от человека к человеку или от животного к человеку непосредственно, контактным путем (дома, в школах, домах престарелых, на животноводческих фермах и т. д.), или косвенно, при потреблении зараженных продуктов питания и питьевой воды или заглатывании воды при купании в общественном водоеме. Паразит очень устойчив к дезинфицирующим средствам, содержащим хлор, но неустойчив к озону. Вспышки, связанные с системами водоснабжения, происходят из-за плохих фильтров.

Считается, что инфицирующая доза очень низка. Теоретически, инфекцию может вызвать пероральное поступление одной жизнеспособной ооцисты. В исследовании с

участием здоровых взрослых добровольцев для 30 ооцист частота заболевания составила 20%. Считается, что вирулентность разных штаммов *C. parvum* сильно варьирует (Gibson, Haas & Rose, 1998).

Источником заразных ооцист служат фекалии инфицированных людей и теплокровных животных. Известно, что резервуаром патогенных микроорганизмов являются около 40 видов млекопитающих, среди них есть и домашние (крупный рогатый скот, свиньи, собаки, кошки), и дикие животные. Важную роль в качестве резервуара инфекции играют телята. Они могут выделять 7×10^6 ооцист на 1 г фекалий.

Исследования показали, что *C. parvum* можно обнаружить в 65–97% поверхностных вод. Большое число паразитов обнаруживается там, куда поступают обработанные и необработанные сточные воды, однако в грунтовых водах паразиты встречаются гораздо реже. Содержание *C. parvum* значительно возрастает при сильных дождях (Kistemann et al., 1998; Karanis & Seitz, 1996; Juranek et al., 1995; Teunis et al., 1997).

Питьевая вода, полученная из поверхностных вод, загрязненных фекалиями человека или животных, является основным источником заражения. *Cryptosporidium* spp., находящиеся в сырой воде, обнаруживаются в питьевой воде (в более низких концентрациях) после стандартных методов обработки. Паразит характеризуется высокой жизнеспособностью, низкой инфицирующей дозой и высокой устойчивостью к дезинфицирующим средствам (Exner, 1996).

Зарегистрировано множество связанных с водой вспышек криптоспоридиоза, что подтверждает важную роль передачи этой инфекции через питьевую воду. В 1983 и 1984 гг. в Соединенном Королевстве и США произошли первые связанные с водой вспышки криптоспоридиоза. С тех пор о вспышках, иногда с очень высоким числом случаев, сообщалось часто (Hunter, 1997).

2.5.2. Лямблиоз

Giardia spp. — жгутиковые простейшие. *Giardia lamblia* (называемая также *G. duodenalis* и *G. intestinalis*) считается самой частой причиной диареи и самым распространенным в мире кишечным паразитом человека. После заражения цистами возможны бессимптомное течение с выделением цист, острая диарея, обычно проходящая самостоятельно, а также хроническая диарея. Другие проявления включают кишечные колики, нарушения всасывания и похудание.

Инфицирующая доза очень низка. Инкубационный период обычно составляет 1–2 недели. Острая диарея обычно проходит через 10 дней, но может длиться от 4 до 12 недель (Hunter, 1997).

В развивающихся странах *Giardia* spp. являются одним из главных возбудителей кишечных инфекций у детей. Распространенность лямблиоза среди детей младше 10 лет составляет 15–20%.

Паразит широко распространен в окружающей среде; он встречается в тонкой кишке человека и многих позвоночных, попадает в водоемы вместе с бытовыми сточными водами, ливневыми стоками и испражнениями инфицированных животных. Цисты мо-

гут сохраняться в водной среде в течение длительного времени, не утрачивая свою инфективность (Gibson, Haas & Rose, 1998; Gleeson & Gray, 1997).

Вода играет основную роль в передаче *Giardia* spp. Большинство связанных с водой вспышек болезни происходят из-за недостаточного хлорирования и (или) неадекватной фильтрации питьевой воды. Подобно *C. parvum*, паразит относительно устойчив к хлору и обладает высокой жизнеспособностью.

В ряде исследований показано, что *Cryptosporidium* spp. и *Giardia* spp. наиболее часто обнаруживаются одновременно в поверхностных водах в местностях с высокой плотностью домашних и диких животных. Однако содержание *Cryptosporidium* spp. почти повсеместно коррелирует с объемом производства молочных продуктов и численностью ланей на водосборных площадях, в то время как присутствие цист *Giardia* spp. в основном сопряжено с наличием стоков нечистот (Atherholt et al., 1998; Kistemann et al., 2002; Ong et al., 1996; Payment et al., 2000; Robertson & Gierde, 2001).

2.6. Болезни, имеющие большую важность на местном уровне

В предыдущем разделе были приведены ключевые данные о болезнях, связанных с водой, которые Стороны «Протокола по проблемам воды и здоровья» признали важными. Тем не менее авторы настоящего документа считают нужным уделить внимание еще двум болезням, имеющим больше местное, чем региональное значение.

2.6.1. Гельминтозы

Несмотря на то что гельминтозы считаются важной проблемой здравоохранения не во всех странах, ратифицировавших Протокол, Стороны согласились с тем, что гельминтозы могут иметь значительную важность на местном уровне. Это происходит из-за того, что водоснабжение не обеспечивает основные гигиенические потребности (широко распространенная ситуация в сельских районах Центральной Азии) либо принято решение об использовании очищенной сточной воды в сельском хозяйстве, например в качестве меры для минимизации изменений климата. В связи с важностью гельминтозов на местном уровне было признано целесообразным привести в настоящем документе их краткое описание.

Гельминтами называют паразитических червей. Как правило, они внедряются в организм хозяина на стадии личинки и мигрируют по телу до тех пор, пока не превратятся в кишечнике во взрослую особь. Гельминты способны вызвать тяжелое поражение тканей и органов, а также привести к истощению.

Основные гельминтозы у человека вызывают нематоды (круглые черви), трематоды (представители плоских червей — сосальщики) и цестоды (представители плоских червей — ленточные черви). Заражение происходит при пероральном поступлении яиц и контактах с загрязненной фекалиями почвой и пищей (Mahmoud, 2000b). Проблему представляет использование недостаточно очищенной сточной воды для ирригации и навоза для обогащения почвы. Такая практика часто ведет к увеличению распространенности кишечных гельминтозов и диарейных болезней среди рабочих, фермеров и потребителей (Mara & Cairncross, 1989).

Нематоды вызывают аскаридоз, трихоцефалез и анкилостомидозы. Трихоцефалез является одним из наиболее распространенных гельминтозов. В мире насчитывается около 800 млн случаев заболевания, особенно в теплых и влажных регионах (Mahmoud, 2000a). У человека эта инвазия может протекать в виде легкой анемии, кровавистого поноса или хронического поражения желудочно-кишечного тракта. Возможны истощение и задержка роста. Распространенность аскаридоза в мире, согласно оценкам, составляет более 1 млрд человек. Болезнь встречается во всех возрастах, однако наиболее часто среди дошкольников и младших школьников. Из проявлений инвазии на первый план выходят легочные нарушения и истощение. Географическая распространенность анкилостомидозов в настоящее время охватывает тропические и субтропические зоны. Анемия и истощение — основные проявления этой инвазии (Mahmoud, 2000a).

Трематоды — это паразитические черви, вызывающие шистосомоз, клонорхоз и фасциолез. Человек служит основным хозяином пяти видов шистосом. Каждый вид имеет специфическое географическое распределение. Для появления шистосомоза необходимы два основных фактора: наличие улиток как промежуточных хозяев и способ утилизации человеческих экскрементов. Это хроническая болезнь, затрагивающая в основном кишечник и печень. *Clonorchis sinensis* — паразит млекопитающих, потребляющих рыбу. Несмотря на то что человек является случайным хозяином этого паразита, на Дальнем Востоке, где традиционно едят сырую или недостаточно приготовленную рыбу, им заражены миллионы людей (Mahmoud., 2000c).

Из цестод у человека чаще всего паразитируют широкий лентец (рыбий цепень), бычий цепень и свиной цепень. Название гельминта само указывает на основной путь передачи. Цисты попадают в желудочно-кишечный тракт с пресной водой, рыбой или зараженным мясом. Симптомы инвазии обычно мало выражены, однако возможен дискомфорт в животе (King, 2000).

Распространение гельминтозов можно предотвратить, прервав жизненный цикл паразита. Заболеваемость можно снизить или свести на нет путем тщательной утилизации человеческих экскрементов, чтобы ограничить распространение паразитов в окружающей среде, использования безопасных кормов для животных, служащих промежуточным хозяином паразита (крупного рогатого скота, свиней, рыбы), проверки мяса и тщательной кулинарной обработки пищи, чтобы уничтожить цисты.

2.6.2. Цианобактерии в питьевой воде

Цианобактерии, встречающиеся повсеместно, — прокариоты, обитающие главным образом в поверхностных водах материка и в прибрежных водах. При благоприятных условиях их плотность становится высокой, и цианобактерии приводят к цветению воды и образованию тины. В качестве вторичных метаболитов большинство цианобактерий продуцируют цианотоксины, которые могут быть сгруппированы в соответствии со своим биологическим воздействием (Codd, Morrison & Metcalf, 2005):

- гепатотоксины (микроцистины и нодулярины);
- нейротоксины [сакситоксины, анатоксин-а, гомоанатоксин-а, анатоксин-а(s)];
- цитотоксины (цилиндроспермопсин);

- раздражители желудочно-кишечного тракта и энтеротоксины [аплайзиатоксин, дебромоеплайзиатоксин, лингбайатоксин (производимый морскими цианобактериями)];
- липополисахаридные эндотоксины;
- другие цианотоксины, токсикологический и экотоксикологический профиль которых в настоящее время известен лишь частично, такие как микровиридин J и β -N-метиламино-L-аланин (ВМАА).

Особый интерес представляет образование большим количеством разнообразных цианобактерий, как свободноживущих, так и симбиотических, заменимой аминокислоты ВМАА (Cox et al., 2005). Несмотря на противоречие мнений, ВМАА считается кандидатом в этиологические агенты, вызывающие ряд тяжелых нейродегенеративных заболеваний (Miller, 2006; Lobner et al., 2007). В благоприятных для роста условиях (то есть при оптимальных температуре, освещении и доступности питательных веществ) цианобактерии приводят к цветению воды и образованию тины. Токсичность бактерий при цветении определяется соотношением штаммов (токсичные/нетоксичные генотипы). Количество микроцистинов, продуцируемых цианобактериями в культуре, прямо пропорционально скорости их роста. Наибольшее количество продуцируется во время поздней логарифмической фазы. Помимо популяционной динамики, на концентрацию микроцистинов в водоемах влияют некоторые параметры окружающей среды, в частности наличие питательных веществ, температура, pH, свет и т. д. (Sivonen & Jones, 1999). В зависимости от вида токсина и стадии роста цианотоксины могут как находиться в клетках цианобактерий, так и быть растворенными в воде (Chorus & Bartram, 1999; van Apeldoorn et al., 2007). По сообщениям, наиболее высокие уровни цианотоксинов наблюдаются при цветении воды и в тине, поэтому на их общую концентрацию в поверхностных водах влияет наличие этих форм биомассы. Для микроцистинов, цилиндропермопсина и анатоксина-a(s) в поверхностных водах наблюдались концентрации до 25 000, 12,1 и 3300 мкг/л соответственно (Sivonen & Jones, 1999; Rücker et al., 2007). Содержание микроцистинов внутри клеток обычно выше, чем в окружающей воде (van Apeldoorn et al., 2007; Ibelings & Chorus, 2007). И наоборот, растворенного в воде цилиндропермопсина обычно больше, чем внутри клеток (Rücker et al., 2007). Относительно соотношения растворенных и внутриклеточных форм других цианотоксинов данных недостаточно. При старении цианобактерий и их естественной гибели, а также при обработке водоемов альгицидами в воде могут наблюдаться высокие концентрации растворенных цианотоксинов (van Apeldoorn et al., 2007; Jones & Orr, 1994).

2.6.2.1. Риск, связанный с цианотоксинами

Воздействие цианотоксинов на человека может происходить несколькими путями. До сегодняшнего дня наиболее важным остается алиментарный путь – потребление зараженной питьевой воды и пищи (включая пищевые добавки) или заглатывание воды во время купания. Чрескожный и ингаляционный пути заражения возможны во время отдыха, занятий спортом и профессиональной деятельности (например, рыболовство) в зараженной воде, а также при домашнем использовании содержащей цианотоксины воды (например, во время душа). Парентеральный путь заражения тоже возможен, если вода из поверхностных водоисточников используется для гемодиализа. Риск для здоровья человека, сопряженный с различными путями воздействия цианотоксинов,

оценен и проанализирован в ряде публикаций (Chorus & Bartram, 1999; Funari & Testai, 2008; van Apeldoorn et al., 2007; Ibeling & Chorus, 2007).

2.6.2.2. Случаи интоксикации человека, приписанные заражению питьевой воды цианобактериями

Воздействие цианотоксинов на человека связывают с рядом случаев заболевания людей. Наиболее важный из них произошел в Бразилии, где 56 пациентов из 130 умерли в результате гемодиализа, при котором использовалась вода, оказавшаяся зараженной микроцистами (Jochimsen et al., 1998; Azevedo et al., 2002). Действительно, при парентеральном пути заражения доза токсинов, попадающих в кровоток, значительно возрастает, поэтому он особенно важен в плане оценки факторов риска для здоровья человека (Funari & Testai, 2008). Если принять во внимание особенности парентерального пути заражения и особенности состояния пациентов, то вода, используемая для диализа, безусловно, должна быть свободна от цианотоксинов. Когда для снабжения питьевой водой используются зараженные поверхностные воды, цианотоксины могут попасть в питьевую воду, если их не удалить должным образом при обработке. С этой точки зрения наибольший риск для здоровья несет использование нефiltrованных или необработанных поверхностных вод. В зависимости от содержания цианотоксинов в питьевой воде у человека может развиваться как острая/кратковременная, так и хроническая патология (Chorus & Bartram, 1999; Funari & Testai, 2008). Острые/кратковременные эффекты наблюдаются либо при употреблении сырой воды, содержащей цианобактерий, либо при высокой концентрации в питьевой воде растворенных цианотоксинов, что возможно в результате естественной гибели или искусственного разрушения цианобактерий с последующей неадекватной обработкой воды.

К настоящему времени сообщалось о многих случаях интоксикации человека, некоторые из которых приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Случаи интоксикации человека, вызванной цианобактериями

Этиологический агент	Место	Вспышка	Последствия
Цветение воды, вызванное <i>Anabaena</i> spp. и <i>Microcystis</i> spp. ^a	Бразилия	2000 случаев гастроэнтерита и 88 смертей в течение 42 дней	—
Обработка сульфатом меди цветущей воды при размножении в ней <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> ^b	Австралия	В течение недели 140 детям и 10 взрослым потребовалась госпитализация в связи с поражением печени и почек	Полное выздоровление всех пациентов
Цветение воды, вызванное цианобактериями ^a	Австралия, Австрия	Гастроэнтерит и поражение печени	—

Источники: ^a Teixeira et al., 1993; ^b Byth, 1980; Hawkins & Griffiths, 1993; ^c Botes et al., 1985; Fawell et al., 1993; Zilberg, 1996; El Saadi et al., 1995; Falconer, 1989, 1994.

Острые/кратковременные эффекты можно предотвратить, снизив содержание в воде как самих цианобактерий (> 99%), так и растворенных цианотоксинов (Jones & Orr, 1994; Dietrich & Hoeger, 2005).

Странам с ограниченными ресурсами можно порекомендовать не использовать зараженные цианобактериями поверхностные воды без фильтрации, при которой удаляются клетки (то есть простой фильтрации через песочные фильтры), и избегать использовать воду в то время, когда цветение увядает (происходит старение цианобактерий) и концентрации цианотоксинов в воде становятся выше (Funari & Testai, 2008).

Хронические эффекты трудно выявить и подтвердить. Эпидемиологические исследования, проведенные в Китае (Ueno et al., 1996) и во Флориде (Fleming et al., 2001; 2002), не смогли продемонстрировать, что воздействие цианотоксинов является действительной причиной наблюдавшихся последствий, то есть опухолей печени и толстой кишки, а только указали на него как на наиболее вероятную причину. Плохое качество имеющихся эпидемиологических данных — вследствие дизайна исследования и (или) наличия сильных искажающих факторов — позволило Международному агентству по изучению рака (IARC, 2006) сделать вывод, что связать повышенный риск печеночноклеточного рака и рака толстой кишки с воздействием микроцистинов не представляется возможным. Хотя эпидемиологические данные неубедительны, имеются токсикологические данные, которые можно использовать (по крайней мере, в отношении некоторых цианотоксинов) для оценки риска, связанного с потреблением зараженной питьевой воды, используя общепринятые, признанные на международном уровне процедуры оценки риска.

Для микроцистина-LR ВОЗ (WHO, 2004) выбрала в качестве предельно допустимого уровня субхроническую дозу, не вызывающую видимых неблагоприятных эффектов, — NOAEL, равную 40 мкг/кг/сут (Fawell, James & James, 1994). Этот выбор представляет собой пример консервативного подхода, так как: NOAEL была установлена в исследовании, проводившемся на мышах, более чувствительных к острым эффектам микроцистина-LR, чем крысы; действие минимальной дозы, вызывающей видимые (неблагоприятные) эффекты, — LO(A)EL (200 мкг/кг/сут) незначительно и продемонстрировано на небольшом числе животных; микроцистин-LR вводился через зонд, а не с пищей, что приводит к повышению NOAEL (Funari & Testai, 2008). Приняв коэффициент неопределенности равным 1000 [с учетом внутри- и межвидовой изменчивости (100) и отсутствия данных о хронической токсичности], получим условно переносимое суточное поступление микроцистина-LR, равное 0,04 мкг/кг/сут. Это значит, что взрослый человек весом 60 кг может получать микроцистин-LR внутрь в дозе 2,4 мкг/сут в течение всей жизни без какого-либо токсического эффекта. В свете использованного консервативного подхода это значение представляется достаточно надежным, чтобы считать воздействие микроцистина-LR в течение ограниченного периода в дозах, подобных переносимому суточному поступлению или незначительно превышающих его, не представляющим реального риска для населения. На основе этого ВОЗ (WHO, 2004), учитывая суточное потребление питьевой воды в объеме 2 л и коэффициент распределения, равный 0,8 (означающий, что на питьевую воду приходится 80% общего поступления микроцистина-LR), вычислила условное справочное значение для содержания микроцистина-LR в питьевой воде, равное 1 мкг/л.

Справочных значений для других микроцистинов (имеющих разную острую токсичность, обычно более низкую, чем у микроцистина-LR) не существует. Поэтому для общей концентрации всех микроцистинов рекомендуется использовать в качестве значения по умолчанию эквиваленты концентрации (Chorus & Bertram, 1999). ВОЗ не дает справочных значений для каких-либо других цианотоксинов в связи с отсутствием токсикологических данных, тем не менее некоторые соображения по поводу предварительной оценки риска имеются (Funari & Testai, 2008). Для анатоксина-а NOAEL не установлена, так как в исследовании субхронической токсичности даже самая высокая доза (510 мкг/кг/сут) не оказывала никаких эффектов (Astrachn, Archer & Hilbelink, 1980; Fawell et al., 1999). Тем не менее, взяв в качестве NOAEL самую высокую из исследованных доз и коэффициент неопределенности, равный 1000 (как для микроцисти-

на-LR), можно определить условно переносимое суточное поступление, которое будет равно 0,51 мкг/кг/сут, и справочное значение, которое составит 1,2 мкг/л (Duy et al., 2000). На основании этих расчетов было предположено, что справочное значение общей концентрации анатоксинов в питьевой воде, равное 1 мкг/л, будет достаточно низким для защиты здоровья населения, которое может подвергаться их воздействию (Fawell et al., 1999). Предел, равный 6 мкг/л, который принят в Новой Зеландии для общего содержания анатоксинов в питьевой воде, а также предел, равный 3 мкг/л, который принят в Австралии для анатоксина-а (Chorus, 2005), соответствуют этим сообщениям.

Что касается цилиндропермопсина, задав субхроническую NOAEL равной 30 мкг/кг/сут (Humpage & Falconer, 2003) и разделив ее на коэффициент неопределенности 1000 (как для других цианотоксинов), получим условно переносимое суточное поступление, равное 0,03 мкг/кг/сут. Таким образом, для человека весом 60 кг ежедневное поступление до 1,8 мкг цилиндропермопсина в течение жизни, по-видимому, не представляет риска. Однако, поскольку предполагается, что метаболиты цилиндропермопсина обладают генотоксическим действием, после появления новых данных показатель условно переносимого суточного поступления должен быть пересмотрен. Используя такой же подход, как для микроцистина-LR, можно определить справочное значение, равное 0,81 мкг/л (округленно 1 мкг/л) (Humpage & Falconer, 2003; Codd, Morrison & Metcalf, 2005).

Токсикологические данные можно также использовать для определения безопасных концентраций в отношении острых эффектов. Стартовой точкой должно быть определение острой дозы, не вызывающей видимых неблагоприятных эффектов (острой NOAEL). В исследованиях острой токсичности при пероральном введении микроцистина-LR признаки гепатотоксичности появлялись даже при самой низкой дозе (минимальная доза, вызывающая видимые неблагоприятные эффекты, — LOAEL — равна 500 мкг/кг); однако при внутрибрюшинном введении мышам дозы в диапазоне 25–50 мкг/кг не влияли на целевой орган — печень (Fromme et al., 2000). Учитывая, что при внутрибрюшинном введении микроцистин-LR в 30–100 раз токсичнее, чем при пероральном, помимо коэффициента неопределенности, равного 100 (чтобы учесть внутри- и межвидовую изменчивость), нужно применить корректирующий коэффициент, равный 10. Острая NOAEL составит 2,5 мкг/кг, что соответствует 150 мкг для взрослого человека весом 60 кг. Так как при внутрибрюшинном введении кривые доза—эффект всегда крутые, особое внимание следует уделить случаю, когда поступление микроцистина-LR близко к острой NOAEL. При таком уровне воздействия всех микроцистинов острые эффекты не ожидаются, поскольку оценка была основана на данных для микроцистина-LR, одного из самых токсичных микроцистинов.

Несмотря на то что до сих пор случаев интоксикации человека питьевой водой, содержащей сакситоксины, не было, возможность острых эффектов сакситоксинов тоже вызывает озабоченность в связи с их высокой (до 2700 мкг/л) концентрацией в пресной воде (Batorèu et al., 2005). Поэтому некоторые страны ввели справочные значения или нормативные требования: в Австралии рекомендуемая концентрация эквивалентов сакситоксинов в питьевой воде была принята равной 3 мкг/л (NHMRC, 2001), в Новой Зеландии — 1 мкг/л (Org, Jones & Hamilton, 2004). Если считать, что ежедневное потребление питьевой воды составляет 2 л, эти нормативные ограничения соответствуют 2–6 мкг сакситоксина на человека, что является лишь малой частью предельного зна-

чения, установленного Европейским Союзом для двустворчатых моллюсков, с тем чтобы защитить потребителей от острых эффектов (European Union, 1991).

2.7. Мониторинг

Открытие патогенных микроорганизмов во второй половине XIX века быстро привело к пониманию того, что они могут передаваться через питьевую воду. К концу XIX века передача через питьевую воду впервые была доказана для возбудителей двух болезней — холеры и брюшного тифа. В последующем передаваемыми через воду были признаны многие другие патогенные микроорганизмы. В табл. 3 перечислены патогенные микроорганизмы, которые могут встречаться в водоисточниках в опасных для здоровья концентрациях (Schoenen, 1996).

Таблица 2.3. Патогенные микроорганизмы, передаваемые через воду

Бактерии	Вирусы	Простейшие
<i>Vibrio cholerae</i>	Полиовирусы типов 1, 2 и 3	<i>Entamoeba histolytica</i>
<i>Salmonella typhi</i>	Вирусы гепатитов А и Е	<i>Giardia lamblia</i>
<i>S. paratyphi</i>	Энтеровирусы	<i>Cryptosporidium parvum</i>
<i>S. enteritidis</i>	Ротавирусы	<i>Toxoplasma gondii</i>
<i>Shigella</i> spp.	Аденовирусы	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Норовирусы (вирусы группы Норуолк)	
<i>Campylobacter jejuni</i>	Вирусы Коксаки	
<i>E. coli</i> (патогенные штаммы)		
<i>Leptospira</i> spp.		

Источник: Schoenen, 1996.

В настоящем документе не уделяется внимания патогенным микроорганизмам, которые встречаются в воде в концентрациях, не опасных для здоровья, но могут размножаться в водораспределительных сетях (их список см. в табл. 2.4). Для сведения к минимуму риска для здоровья, который они представляют, требуются специальные профилактические меры.

Таблица 2.4. Патогенные микроорганизмы, которые могут размножаться в водораспределительной системе

Микроорганизмы
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Legionella</i> spp.
<i>Aeromonas hydrophila</i>
<i>Flavobacterium</i> spp.
<i>Acinetobacter</i> spp.
Амебы (<i>Acanthamoeba</i> spp., <i>Naegleria</i> spp.)
Атипичные микобактерии

Источник: Ainsworth, 2004:5–8, с изменениями.

За исключением *Leptospira* spp., перечисленные в табл. 2.3 микроорганизмы передаются фекально-оральным путем, то есть они экскретируются из желудочно-кишечного тракта человека или животных и попадают к новому хозяину пероральным путем. Патогенные микроорганизмы могут передаваться от человека к человеку или от животного к человеку непосредственно либо через пищевые продукты, питьевую воду и другие

предметы, так как они высокоустойчивы к повреждающему действию окружающей среды. Заражение *Leptospira* spp. происходит, как правило, при контакте кожи с загрязненными предметами и, в исключительных случаях, перорально с загрязненной водой.

В последние годы основное внимание переключилось на приобретающих все большее значение паразитов, в частности *G. lamblia* и *C. parvum*, и создаваемую ими угрозу для здоровья человека, о чем говорилось ранее в настоящей главе.

3. Факторы риска для здоровья, связанные с химикатами

Основной автор: Annette Loock

3.1. Основные химические аспекты

Человек может прожить без кислорода три минуты, без воды — три дня, а без пищи — тридцать дней, поэтому вода чрезвычайно важна для человека. Обычная вода — это раствор различных ингредиентов, поступивших из разных источников.

- Химикаты, встречающиеся в природе (например, карбонаты, кальций, магний, хлориды, натрий, калий, а также мышьяк, фтор и радиоактивные вещества).
- Химикаты, связанные с обработкой питьевой воды и продуктами химических реакций (алюминий, хлор, фосфаты, тригалометаны).
- Химикаты, поступающие в питьевую воду в результате контакта с материалами сети питьевого водоснабжения (железо, свинец, медь).
- Химикаты, поступающие в источник питьевой воды в связи с антропогенной деятельностью (пестициды, антибиотики, эстрогенсодержащие вещества).

3.1.1. Органолептическая оценка

Запах, внешний вид и вкус являются важными критериями при оценке качества питьевой воды. На запах влияют продукты, появляющиеся при гниении, такие как сероводород. Обоняние может играть роль предупредительного механизма при содержании в воде токсических веществ или микробном загрязнении, например при наличии патогенных микроорганизмов, выделяющих газ. Запах бывает металлическим, земляным, ароматическим, гнилостным и т. д. Нос человека способен выявлять следы химикатов, то есть количества намного более низкие, чем пределы аналитического выявления. В то же время, хотя оценка с помощью органов чувств важна, с ее помощью нельзя оценить все факторы риска для здоровья, и она не может быть единственным и достаточным способом оценки.

Внешний вид питьевой воды оценивается в основном по мутности и окраске. Окрашенная или мутная вода может указывать на то, что она загрязнена, а также косвенно указывать на микробное обсеменение. Оценка качества воды по внешнему виду может предупредить человека так же, как и оценка по запаху. Химически восстановленная грунтовая вода иногда содержит соли железа (II) и марганца (II). Взятая из-под крана вода может быть чистой, но под воздействием воздуха железо и марганец окисляются и переходят из бесцветных растворимых форм в окрашенные нерастворимые. При использовании воды, содержащей железо или марганец, на домашней утвари и одежде появляются коричневые и черные пятна, а в трубах и нагревателях — осадок. Как железо, так и марганец необходимы для здоровья человека, однако при их чрезмерном воздействии возможны неблагоприятные последствия (WHO, 2004).

На вкус вода должна быть освежающей, поэтому питьевая вода хорошего качества не должна иметь запаха, цвета и мутности и должна быть аппетитной. В зависимости от

растворенных химических веществ вкус воды может быть соленым, горьким, металлическим, мыльным и т. д. При концентрациях свыше 2,5 мг/л медь придает воде горечь. Вода, содержащая высокие концентрации натрия и хлоридов (вкусовой порог — 200–300 мг/л), на вкус соленая. Если избегать употребления воды с высокими концентрациями солей, организм будет защищен от отрицательных последствий перемещения воды между внеклеточным и внутриклеточным пространством. Увеличение концентрации электролитов изменяет активность ферментов, необходимых для жизнедеятельности. Подобно запаху и внешнему виду, вкус воды может указывать на наличие вредного вещества.

3.1.2. Нежелательные эффекты при подготовке питьевой воды

Для определения токсичных ингредиентов, которые не могут быть выявлены с помощью органов чувств, необходим дальнейший анализ. Должен быть проанализирован процесс экстракции питьевой воды. На питьевую воду влияют:

- выбор источника питьевой воды;
- методы обработки воды;
- выбор материалов для сети питьевого водоснабжения.

По геологическим причинам источник питьевой воды может содержать нежелательные вещества, например мышьяк. Другие загрязнители имеют в основном антропогенное происхождение (нитраты, свинец и т. д.).

По антропогенным причинам источник питьевой воды тоже может содержать ряд нежелательных веществ:

- продукты промышленного производства (например, тяжелые металлы, растворители);
- продукты экстенсивного сельского хозяйства (например, пестициды, нитраты, нитриты, пищевые добавки для скота, в частности антибиотики и эстрогены);
- продукты, связанные с авариями (например, нефть, радиоактивные вещества).

При обработке воды с целью улучшить ее качество и количество для фильтрации, осаждения и обеззараживания используются различные материалы. Для того чтобы избежать отрицательного влияния на качество воды во время ее обработки, используемые материалы не должны выделять вещества в токсичных концентрациях.

Во время процесса обеззараживания следует избегать нежелательных концентраций побочных продуктов (например, тригалометанов).

При выборе материалов для водораспределительной сети следует принимать во внимание способность обработанной питьевой воды растворять материалы и вымывать загрязнители из материалов, с которыми она соприкасается. Благодаря хорошим растворяющим способностям воды могут быть высвобождены нежелательные вещества. Вода

может высвободить из трубопроводной системы асбест и тяжелые металлы. Растворяющая способность воды увеличивается при pH ниже 7. Использование различных металлов, находящихся в контакте с водой, также отрицательно влияет на качество воды. Образуется электрохимические элементы, в результате чего основной металл, например свинец, растворяется.

3.1.3. Основы для определения справочных значений

Химикаты, содержащиеся в питьевой воде, могут оказывать острое и хроническое действие на здоровье людей. ВОЗ разработала рекомендации по содержанию ряда химикатов в питьевой воде, с тем чтобы защитить здоровье человека при длительном воздействии. Пороговые величины основаны на переносимом суточном поступлении:

Переносимое суточное поступление = (NOAEL или LOAEL) / Коэффициент неопределенности.

Для химикатов в питьевой воде справочное значение определяется по формуле:

Справочное значение = (Переносимое суточное поступление × В × Д) / П,

где

ВТ = вес тела;

Д = доля переносимого суточного поступления, приходящаяся на питьевую воду;

П = суточное потребление питьевой воды.

3.2. Некоторые показатели

В настоящем разделе описаны некоторые химикаты, которые оказывают или могут оказать токсическое воздействие на человека. Полную информацию по справочным значениям можно найти в документе ВОЗ (WHO, 2004), а детальные описания, касающиеся оценки химического риска, — в более позднем документе ВОЗ (WHO, 2007), а также в указателе основных документов о химических опасностях, связанных с питьевой водой³.

3.2.1. Неорганические вещества

3.2.1.1. Мышьяк

Мышьяк попадает в питьевую воду в основном при растворении природных минералов и руд, встречающихся в земной коре. В промышленности мышьяк используется как легирующая присадка при производстве транзисторов, лазеров и полупроводников.

Условное справочное значение составляет 0,01 мг/л.

Путем оптимизации обработки воды концентрацию мышьяка можно снизить до 5 мкг/л и ниже, но разумнее ожидать, что она будет составлять 10 мкг/л, чего можно достичь традиционными методами, например коагуляцией.

³ Указатель находится по адресу:

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/index.html. Последнее обращение 17 ноября 2008 г.

3.2.1.2. Фтор

Почти в любой воде содержатся следы фторидов. Наиболее важными их источниками являются естественные горные породы.

Справочное значение составляет 1,5 мг/л. Там, где поступление фтора из других источников близко к 6 мг/сут или превышает эту цифру, целесообразно установить стандарты ниже справочного значения.

Концентрация, равная 1 мг/л, должна быть достижимой при использовании активированного алюминия (относительно простая установка дополнительных фильтров). Тем не менее в районах с высоким содержанием естественных фторидов в питьевой воде при имеющихся технологиях обработки воды справочного значения, возможно, будет достичь трудно.

3.2.1.3. Кадмий

Кадмий в источниках питьевой воды обычно имеет антропогенное происхождение. Кадмий – элемент, сопутствующий цинку, он появляется при добыче и обработке цинка. Кадмий также содержится в ископаемом топливе и высвобождается в окружающую среду в процессе горения. Кроме того, кадмий содержится в батарейках. Справочное значение для кадмия составляет 0,003 мг/л. При обработке воды достижима величина 0,002 мг/л, если используются коагуляция и осаждение известью и содой.

3.2.1.4. Алюминий

Алюминий переходит в растворимое состояние под действием кислот, попадающих в почву из атмосферных осадков – дождя и снега. Кислоты образуются из диоксида серы, содержащегося в промышленных и бытовых атмосферных выбросах, и снижают рН почвы. При низких значениях рН происходит высвобождение ионов Al^{3+} из его солей, содержащихся в почве и бытовых отходах. Кроме того, ионы Al^{3+} могут попадать в гидрологический цикл из водоочистных сооружений, если нарушается технология процесса флокуляции при очистке питьевой воды или воды для бытовых нужд.

В кислой воде алюминий в концентрациях ниже 0,1 мг/л высокотоксичен для рыб и уничтожает планктон. Предполагается связь между нейродегенеративными заболеваниями человека и содержанием алюминия в питьевой воде.

Справочного значения для алюминия не существует, однако его высокие концентрации приводят к появлению в водораспределительных системах хлопьевидного осадка, который впоследствии может вызвать проблемы. Обычно концентрация алюминия поддерживается на уровне ниже 0,2 мг/л, а при хорошо поставленной обработке воды можно обеспечить 0,1 мг/л.

3.2.1.5. Нитраты и нитриты

Нитраты в низких концентрациях обнаруживаются почти в любой воде. Причиной больших концентраций могут быть сточные воды, содержащие селитру или сельскохозяйственные удобрения, а также распад и окисление органических и неорганических веществ. Высокое содержание нитратов в питьевой воде может вызвать метгемоглобинемию у грудных детей. Нитраты канцерогенны, так как в организме возможно их превращение в нитриты.

Справочное значение для нитратов составляет 50 мг/л, с тем чтобы предотвратить метгемоглобинемию у грудных детей, находящихся на искусственном вскармливании (кратковременное воздействие).

Справочное значение / условное справочное значение для нитритов составляет:

- 3 мг/л в отношении метгемоглобемии у грудных детей (кратковременное воздействие);
- 0,2 мг/л (условное значение) (длительное воздействие).

Справочное значение в отношении хронических эффектов нитритов считается условным, поскольку неясно, насколько они вредны для человека и как различается восприимчивость к ним у человека и животных.

Биологическая денитрификация (для поверхностных вод) и ионный обмен (для грунтовых вод) при обработке воды позволяют снизить уровень нитратов до 5 мг/л, а хлорирование — снизить уровень нитритов до 0,1 мг/л.

3.2.1.6. Свинец

Повышенный уровень свинца в окружающей среде наблюдается вблизи свинцовых шахт и заводов по переработке свинца. Основным источником этого элемента в питьевой воде служат содержащие свинец трубы и арматура. Концентрация свинца в трубопроводах повышается при длительных периодах застоя. Слой карбоната кальция может предотвратить контакт воды с металлической поверхностью. Коррозия увеличивает концентрацию свинца, особенно в кислой воде. Существуют химические и электрохимические методы обработки, позволяющие свести к минимуму растворимость свинца.

Справочное значение для свинца составляет 0,01 мг/л.

3.2.1.7. Пестициды

В сельскохозяйственной деятельности используется много пестицидов (в Европе продается около 500). Несмотря на это, лишь немногие из них обнаруживаются в поверхностных и грунтовых водах.

После использования в сельском хозяйстве пестициды просачиваются в грунтовые воды или попадают в поверхностные воды с естественными стоками или через дренажные системы. Обычно лишь незначительная часть пестицидов достигает (если вообще достигает) водных резервуаров. Попадая в окружающую среду, пестициды подвергаются различным процессам разрушения. Кроме того, многие из них имеют большее сродство к почве, нежели к воде, что ограничивает их перемещение.

Судьба пестицидов в окружающей среде зависит от их физико-химических свойств (Gustafson, 1988; Singh, Walker & Wright, 2002; Dagnac et al., 2002; Turusov, Rakitsky & Tomatis, 2002). Помимо свойств самих пестицидов на загрязнение ими водных резервуаров влияют и другие факторы, а именно тип возделывания земли, степень и частота применения пестицидов и общий объем их использования, вид почвы (ее механический и химический состав), гидрогеологические характеристики и климатические условия (Giuliano, 1995; FOCUS, 2000; Worrall & Kolpin, 2004).

Загрязнение пестицидами водных резервуаров имеет специфические особенности. Загрязнение пестицидами поверхностных вод носит сезонный характер и обычно кратковременно. Загрязнение пестицидами грунтовых вод меньше зависит от времени года или не зависит вообще. Грунтовые воды в целом защищены от загрязнения лучше поверхностных и представляют собой источник питьевой воды высокого качества.

Этой проблеме было посвящено большое число исследований (Senseman, Lavy & Daniel, 1997; Garmouma et al., 1997; Thurman et al., 1998; Funari et al., 1995, 1998; Kreuger, 1998; Spliid & Koppen, 1998; EEA, 1999; Tuxen et al., 2000; Scribner, Thurman & Zimmerman, 2000; Younes & Galal-Gorchev, 2000, 2000; Barbash et al., 2001; van Maanen et al., 2001; Squillace et al., 2002; Cerejeira et al., 2003; Papadopoulou et al., 2004; Lapworth & Goddy, 2006; Comoretto et al., 2007). Основным их результатом стал вывод о том, что в загрязнении воды участвует относительно малое число соединений. Так, в грунтовых водах часто обнаруживают атразин, тербутилазин, метолахлор, бентазон, мекопроп, изопротурон, гексазинон, дихлорбензамид, дезэтилатразин и дезэтилтербутилазин; а в поверхностных — атразин, дезэтилатразин, бентазон, диурон, МХФА (2-метил-4-хлорфеноксиксусную кислоту), метолахлор, молинат, оксадиазон, тербутилазин и дезэтилтербутилазин.

Липофильные соединения, в частности диоксины и ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан), вступают во взаимодействие с частицами почвы и почти не перемещаются, а поэтому не считаются загрязнителями воды.

3.2.1.8. Побочные продукты обеззараживания

Побочные продукты обеззараживания воды можно разделить на четыре основные группы: тригалометаны, хлоруксусные кислоты, хлоркетоны и галоацетонитрилы. Особую озабоченность вызывают броматы, образующиеся при окислении бромидов.

Для снижения концентрации побочных продуктов обеззараживания можно придерживаться следующих стратегий:

- изменение условий процесса (в том числе удаление перед обеззараживанием соединений — предшественников побочных продуктов);
- замена химического дезинфицирующего средства на другое, которое в данной воде будет образовывать меньше побочных продуктов;
- использование нехимических методов обеззараживания;
- удаление побочных продуктов обеззараживания перед подачей воды в распределительную сеть.

При попытках контролировать концентрацию побочных продуктов обеззараживания чрезвычайно важно не ухудшить эффективность обеззараживания и поддерживать в водораспределительной системе достаточный остаточный уровень дезинфицирующего средства.

3.2.2. Радиоактивность

ВОЗ рассчитывает справочные уровни радионуклидов в питьевой воде по следующему уравнению:

$$CУ = КИД / (h_{ing} \times П),$$

где

СУ – справочный уровень радионуклидов в питьевой воде (Бк/л);

КИД – критерий индивидуальной дозы, равный 0,1 мЗв/год;

h_{ing} – коэффициент дозы при пероральном поступлении для взрослых (мЗв/Бк);

П – годовое потребление питьевой воды, принятое равным 730 л/год.

Ниже приведены справочные уровни отдельных радионуклидов, содержащихся в питьевой воде.

Радионуклид	Справочный уровень
^{210}Pb	0,1 Бк/л
^{224}Ra , ^{225}Ra и ^{226}Ra	1 Бк/л
^{228}Ra	0,1 Бк/л
^{210}Po	0,1 Бк/л
^{225}U и ^{236}U	1 Бк/л
^{237}U	100 Бк/л
^{238}U	10 Бк/л (условное справочное значение для содержания урана в питьевой воде составляет 15 мкг/л в соответствии с его химической токсичностью для почек)
^{229}Th	0,1 Бк/л

Выявление отдельных радиоактивных веществ и измерение их концентрации обычно не оправданы. Практичнее проводить скрининг, то есть сначала определять суммарные уровни α - и β -излучения без соотнесения их с конкретными радионуклидами. При уровне α -излучения ниже 0,5 Бк/л и при уровне β -излучения ниже 1 Бк/л дальнейшая проверка питьевой воды не нужна.

4. Факторы риска для здоровья, связанные с системой водоснабжения

Основные авторы: Friederike Dangendorf и Roger Aertgeerts

Значительная часть проблем качества воды, связанных со здоровьем, вызвана наличием патогенных микроорганизмов. Необходим микробиологический контроль качества, который никогда нельзя ослаблять. Тем не менее следует признать, что химические загрязнители вызывают тяжелые нарушения здоровья. Угрозы химического загрязнения все еще имеют место, и их оценка должна быть составной частью любой программы оценки факторов риска и управления ими, направленной на обеспечение безопасности воды.

Обеспечение безопасности питьевой воды основано на использовании нескольких барьеров на пути от водных ресурсов до потребителя, чтобы предотвратить загрязнение питьевой воды, сократить возможное загрязнение до незначительного уровня, не опасного для здоровья, посредством соответствующей обработки в ряде последовательных операций и обеспечить, чтобы полученная безопасная вода достигла потребителя без ухудшения качества в водораспределительной системе.

Комплексная оценка факторов риска и управление ими, которые характеризуют успешную работу служб, связанных с водой, лежат в основе хорошо управляемой системы водоснабжения и называются «планом по обеспечению безопасности воды» (ПОБВ).

4.1. Уязвимость водных ресурсов

4.1.1. Общие положения

В общем случае на качество сырой воды влияют как естественные, так и человеческие факторы. Важными естественными факторами, которые могут повлиять на качество, служат живая природа, климат, топографические и геологические особенности, растительность. Человеческие факторы включают в себя точечные (например, спуски городских и промышленных сточных вод) и неточечные источники загрязнения (например, городские и сельскохозяйственные стоки, включая агрохимические и связанные с домашним скотом и купанием). Например, спуски городских сточных вод могут быть основным источником патогенных микроорганизмов; городские отходы и домашний скот могут приводить к значительному микробному загрязнению. Пребывание в воде во время отдыха может быть причиной фекального загрязнения, а сельскохозяйственные стоки могут затруднять обработку воды.

Важно, чтобы характеристики местной водосборной площади или водоносного пласта были хорошо изучены, а опасности, которые могут вести к загрязнению воды, были выявлены и взяты под контроль. Иногда значительное сокращение загрязняющих видов деятельности на водосборной площади представляется невозможным, однако введение надлежащих практик для контроля за опасными веществами и микроорганизмами обычно позволяет решить проблему, не сокращая этих видов деятельности. Развитие сотрудничества заинтересованных сторон может быть мощным инструментом для уменьшения загрязнения без сокращения полезных разработок (WHO, 2003).

4.1.2. Выбор нового источника водоснабжения

До того как выбрать новый ресурс, важно убедиться, что качество питьевой воды удовлетворительное или что ее можно обработать до соответствующего уровня экономически приемлемым способом, используя имеющиеся технологии. Более того, существующего количества воды должно быть достаточно для обеспечения постоянных потребностей, принимая во внимание дневные и сезонные колебания и прогнозируемый рост спроса в обслуживаемом населенном пункте. Такой рост может быть вызван не только увеличением населения, но и улучшением жизненного уровня или расширением какой-либо промышленной деятельности.

Правильный выбор и защита водного ресурса имеют важнейшее значение для обеспечения безопасности питьевой воды. Всегда лучше защитить воду от загрязнения, чем обрабатывать ее после того, как она стала загрязненной. Поскольку случаи загрязнения могут время от времени происходить, целесообразно предотвратить большую часть проблем, связанных с питьевой водой, обеспечив должную защиту источника.

Для того чтобы обеспечить выбор наилучшего источника, следует провести тщательный анализ качества воды источника и сделать всеобъемлющую оценку уязвимости источника для загрязнения. По возможности оценку следует делать для наихудшей ситуации. Санитарная инспекция и оценка уязвимости для загрязнения тоже должны проводиться для наихудшей ситуации. Санитарная инспекция должна указать риск микробного загрязнения источника из близлежащих объектов и на основании этого определить меры, которые необходимо принять для защиты источника от непрерывного загрязнения. В результате оценки уязвимости для загрязнения будет получена информация о риске загрязнения источника в более широкой перспективе и выявлен потенциальный риск химического загрязнения⁴.

4.1.3. Грунтовые воды

Дождевая вода или поверхностные воды, которые просачиваются в почву, могут собирать патогенных микроорганизмов во время прохождения через верхние слои почвы и переносить их в более глубокие слои. В частности, вещества как в растворенном виде, так и в форме частиц могут быстро перемещаться на значительные расстояния в горизонтальном или вертикальном направлении через предварительно сформированные почвенные капилляры. Когда вода проникает в почву, частицы веществ, переносимые водой, могут адсорбироваться на поверхности материалов почвы. Благодаря этому процессу из воды удаляются как неживые частицы, так и патогенные микроорганизмы, в том числе бактерии, вирусы и паразиты. Адсорбционная способность почвы меняется в зависимости от размера пор (чем он меньше, тем лучше степень фильтрации) и протяженности потока воды при прохождении через почву. Вода из хорошо защищенного подземного резервуара свободна от патогенных микроорганизмов и содержит очень небольшое количество неспецифических микробов. Такие источники отвечают наиболее строгим гигиеническим и микробиологическим требованиям к оптимальному обеспечению питьевой водой.

⁴ Материалы семинаров ВОЗ по качеству питьевой воды предоставляются штаб-квартирой ВОЗ (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/dwqtraining/en; последнее обращение 23 декабря 2010 г.)

Грунтовые воды уязвимы по отношению к загрязнению, хотя это часто не принимается во внимание в связи с историческими воззрениями, такими, как установка «с глаз долой — из сердца вон». Понятие уязвимости грунтовых вод основано на допущении, что физическое окружение может обеспечить некоторую степень защиты грунтовых вод от воздействия природы и человека, особенно в отношении загрязнителей, поступающих в подземную среду. В пустынях и полупустынях, например в прикаспийских странах, скорость испарения обычно выше, скорость повторного наполнения — ниже, а пути потоков длиннее, чем в регионах с влажным климатом. Это часто приводит к длительному сохранению загрязнителей и означает, что случаи загрязнения могут иметь далеко идущие последствия. Поэтому для поддержания качества грунтовых вод, как и во многих других случаях, профилактика лучше, чем «лечение».

Потенциальные угрозы, которые могут влиять на качество запасов и ресурсов воды и которые следует принимать во внимание в ходе оценки факторов риска, приведены в табл. 4.1 (WHO, 2004).

Таблица 4.1. Примеры угроз для водных ресурсов

Водосборные площади	<ul style="list-style-type: none"> • Геологические процессы • Быстрое изменение качества сырой воды • Выбросы из канализационной системы и системы очистки стоков • Промышленные выбросы • Использование химических средств на водосборных площадях, например удобрений и сельскохозяйственных пестицидов • Крупные разливы и (или) утечки в результате аварий • Общественные дороги • Доступ человека (пребывание в воде) • Живая природа (фауна и флора) • Неограниченное число голов домашнего скота • Несоответствующие буферные зоны • Использование окружающих земель (например, животноводство, сельское хозяйство, лесное хозяйство, промышленные зоны, свалки отходов, разработка недр) • Изменения в использовании земли, находящейся вокруг • Прибрежные зоны с недостаточной растительностью и проблемы с отстойниками и (или) эрозией почвы • Ливневые потоки и сливы • Существующие или ранее существовавшие свалки отходов и шахты, загрязненные объекты, опасные отходы • Неограниченные или неглубокие водоносные слои • Грунтовые воды, связанные с поверхностными водами • Недостаточная защита устья скважины и антисанитарные методы работы • Необсаженные или несоответствующим образом обсаженные скважины • Попадание соли в прибрежный водоносный слой • Загрязненные водоносные слои • Изменения климата и сезонные изменения (например, сильные дожди, засуха) • Лесные пожары, стихийные бедствия, диверсии
---------------------	---

Источник: WHO, 2004.

Наиболее логичный подход к определению риска загрязнения грунтовых вод — это считать его зависящим от двух взаимодействующих факторов:

- существующего или потенциального уровня загрязнения подповерхностных слоев в результате деятельности человека;
- уязвимости в отношении загрязнения, которая определяется характеристиками пластов, отделяющих водоносный слой от поверхности земли (WHO, 2008).

Знание того, как образуются грунтовые воды и как они перемещаются в водоносные слои, имеет важное значение для понимания уязвимости грунтовых вод для загрязнения и последующей разработки стратегий защиты грунтовых вод, подготовки мер контроля или ликвидации загрязнения и создания сетей мониторинга.

Уязвимость грунтовых вод для загрязнения можно представить на картах. Однако специалисты по грунтовым водам, готовящие карты, должны объяснить пользователям неизбежную ограниченность таких карт. Эта ограниченность не зависит от применяемого способа описания уязвимости и может быть следствием упрощения, связанного с отличием степени однородности почв и водоносных слоев от масштаба карты, а также плохого качества имеющихся данных. При учете этой ограниченности карты уязвимости показали, что они могут играть ценную роль в охране грунтовых вод.

Законодательство играет важную роль в защите качества грунтовых вод. Законы должны быть основаны на соответствующем процессе консультаций, чтобы политика была хорошо обоснованной и пользовалась широкой поддержкой. Однако политика и законы в области охраны грунтовых вод могут быть эффективными только тогда, когда социальные и экономические условия позволяют следовать им без чрезмерных затрат со стороны общества.

Создание и поддержание зон охраны грунтовых вод является основным компонентом плана по обеспечению безопасности воды (ПОБВ) для источников грунтовых вод. Создание охранных зон, в которых контролируются землепользование и загрязняющие выбросы, представляет собой общепринятый подход для борьбы с риском загрязнения водоносных слоев. Их основной целью является предотвращение загрязнения в областях питания грунтовых вод. Создание охранных зон важно как против микробиологических, так и против химических загрязнителей; при правильном использовании они обеспечивают эффективный барьер для загрязнения источников грунтовых вод. Границы многих охранных зон определены с учетом времени, необходимого загрязнителям для достижения мест забора грунтовых вод от точки выброса загрязнителей. Некоторые конкретные компоненты охранных зон, которые могут быть использованы как меры контроля, приведены в табл. 4.2. В табл. 4.3 указаны дополнительные вспомогательные программы, которые могут потребоваться для обеспечения эффективного контроля качества грунтовых вод.

Контроль сельскохозяйственной деятельности может свести к минимуму связанное с ней загрязнение грунтовых вод. Он также важен при создании охранных зон. Например, правильное использование удобрений и пестицидов, соответствующий подбор сельскохозяйственных культур и времени посева могут значительно сократить поступление чрезмерного количества химикатов из почвы в грунтовые воды. Загрязнение в сельскохозяйственных районах широко распространено, так как загрязняющие вещества используются на больших территориях. Ирригация также может привести к загрязнению,

если загрязненная вода используется как источник орошения или если ирригация осуществляется несоответствующим образом, увеличивая таким образом засоление почвы. Кроме того, чтобы свести к минимуму загрязнение, можно оптимизировать животноводческие процессы и утилизацию отходов. Это особенно важно там, где ведется интенсивная деятельность. Все перечисленное является важнейшими факторами, которые следует учитывать при охране ресурсов грунтовых вод и их качества.

Таблица 4.2. Меры контроля для охранных зон грунтовых вод

Мера контроля	Мониторинг и оценка
Определение охранных зон для обеспечения микробиологической чистоты на основании времени перемещения потоков и местных гидрогеологических условий	<ul style="list-style-type: none"> • Мониторинг землепользования в пределах зоны и обеспечение контроля за соблюдением ограничений • Контрольные замеры • Подтверждение с помощью микробиологических показателей (фекальные стрептококки, E. coli, бактериофаги)
Определение охранных зон для обеспечения химической чистоты на основании времени перемещения потоков и местных гидрогеологических условий	<ul style="list-style-type: none"> • Мониторинг использования земли в пределах зоны и обеспечение контроля за соблюдением ограничений • Контрольные замеры • Подтверждение с помощью химического анализа
Определение зон, уязвимых для нитратов	<ul style="list-style-type: none"> • Мониторинг применения удобрений (неорганических и органических) • Подтверждение с помощью химических анализов
Определение охранных зон для питающих водоемов с целью обеспечения защиты ресурсов	<ul style="list-style-type: none"> • Мониторинг применения удобрений (неорганических и органических)
Контроль откачивания воды для того, чтобы понижение уровня воды не увеличивало риск вымывания	<ul style="list-style-type: none"> • Проверки откачивания воды • Мониторинг уровней воды вокруг источников, из которых откачивается вода, с помощью пьезометров • Испытания по откачиванию для оценки понижения уровня

Источник: WHO, 2006.

4.1.4. Источники и родники

Для защиты источников можно применить некоторые особые меры. Родники, например, служат хорошим источником воды, если они должным образом защищены от загрязнения. Чтобы защитить родник, сооружается подпорная коробка или стенка вокруг места, где родниковая вода выходит из-под земли. Пространство за опорной стенкой заполняется песком или камнями с целью фильтрации воды, поступающей в коробку. Участок позади стенки покрывается глиной, на поверхности которой высаживают траву.

Весь участок должен быть обнесен оградой. Над родником должна быть вырыта канава, чтобы поверхностная вода не размывала засыпанный участок и не загрязняла его. Участок сбора воды нужно забетонировать и ниже выходной трубы оставить достаточно места, чтобы люди ставили туда посуду для воды, если они берут воду непосредственно из родника. Необходимо соорудить футерованный дренаж для отвода пролитой воды от родника. Чтобы предотвратить размножение комаров, из родниковой воды не должны образовываться лужи.

Таблица 4.3. Программы поддержки охраны грунтовых вод

Программа поддержки	Мониторинг и проверка
Программы составления гидрогеологических карт на национальном и местном уровнях	<ul style="list-style-type: none"> Гидрогеологические карты, созданные на национальном и местном уровнях
Оценки уязвимости основных и малых водоносных пластов	<ul style="list-style-type: none"> Созданные карты уязвимости
Создание моделей потока и перемещения загрязнителей для водоносных пластов	<ul style="list-style-type: none"> Имеющиеся модели Калиброванные модели
Установление приоритета водоносных слоев для создания охранных зон	<ul style="list-style-type: none"> Приоритет водоносных слоев указывается на картах и в отчетах
Программа гидрологических исследований по возникающим проблемам и улучшению понимания состояния водоносных слоев	<ul style="list-style-type: none"> Финансируемая программа исследований Учет результатов исследований в планах управления использованием грунтовых вод
Обучение специалистов-гидрогеологов методам моделирования и анализа	<ul style="list-style-type: none"> Наличие курсов обучения Проверка курсов обучения для определения потребностей и возможностей Сертификация / признание курсов профессиональными органами
Кампании просвещения и повышение осведомленности об охране грунтовых вод	<ul style="list-style-type: none"> Разработка и проведение кампаний Эффективность, проверенная путем оценки изменений в знаниях о защите грунтовых вод и об отношении к ней
Обучение фермеров и рабочих методам приемлемого землепользования	<ul style="list-style-type: none"> Наличие обучения Число подготовленных фермеров и рабочих Число фермеров и рабочих, соблюдающих нормы и правила
Разработка законодательства, контролирующего выкачивание грунтовой воды и землепользование	<ul style="list-style-type: none"> Законодательство существует и обновляется Выкачивание воды в соответствии с заданными целевыми уровнями

Источник: WHO, 2006.

4.1.5. Поверхностные воды

Поверхностные воды как источник питьевой воды всегда необходимо обрабатывать. Это относится и к тем случаям, когда загрязнение происходит только периодически.

Охрана открытых поверхностных вод проблематична в отсутствие должного управления (WHO, 2008). Можно защитить резервуар воды от воздействия основной человеческой деятельности, но защита реки возможна только в ограниченных пределах, если возможна вообще. Часто необходимо смириться с существующим или историческим использованием реки или озера и разработать соответствующие меры по их очистке. Однако важно, чтобы были приняты меры для защиты источников питьевой воды как в местном, так и в более широком масштабе. Местные меры необходимы для того, чтобы используемый источник воды не был подвержен загрязнению из своего ближайшего окружения. Меры широкого масштаба требуются для обеспечения того, чтобы ценные источники воды не были потеряны из-за загрязнения водного объекта, находящегося на некотором расстоянии от источника питьевой воды.

Эффективные меры охраны ресурсов и источника включают в себя:

- разработку и реализацию планов управления водосборным районом, в которых указаны меры контроля с целью защиты источников поверхностных и грунтовых вод;
- обеспечение того, чтобы правила планирования предусматривали защиту водных ресурсов от потенциально загрязняющей деятельности и соблюдались;
- повышение осведомленности общества о влиянии человеческой деятельности на качество воды.

Там, где поверхностные воды применяются в качестве источника питьевой воды, использование земли в районе водосбора должно быть под контролем и, желательно, ограничиваться деятельностью, которая в целом не приводит к загрязнению. Это может быть проблематичным, так как некоторые виды деятельности могут быть широко развиты. В этом случае должны быть разработаны и должны использоваться адекватные стандарты качества очищенных сточных вод. В некоторых странах для этого требуется разрешение на сброс, которое выдает государственный орган.

Контроль землепользования обычно более эффективен в отношении искусственных резервуаров, в основном потому, что они расположены вдали от мест интенсивной человеческой деятельности. Однако меры контроля землепользования бывает трудно ввести в местах, где вблизи водного объекта расположены крупные промышленные предприятия или их планируется создать. Резервуары могут быть привлекательными для интенсивного пахотного земледелия, в котором применяются удобрения и пестициды, способные загрязнять водный объект.

Введение в действие строгих мер, направленных на соблюдение стандартов качества очищенных сточных вод, подкрепленных соответствующим законодательством, предусматривающим взимание штрафов в соответствии с масштабом загрязнения, может внести значительный вклад в улучшение качества поверхностных вод. Однако нужны и позитивные действия, чтобы помочь промышленности обеспечить обработку сточной воды на предприятиях. Это могут быть повышение информированности промышленного сектора, консультации по техническим аспектам, касающиеся выбора технологии, а также создание побудительных мотивов для промышленности, таких как снижение налогов или субсидии.

В местах, где имеется несколько источников воды, возможен гибкий подход к выбору воды для обработки и водоснабжения. Можно не брать воду из рек и ручьев с плохим качеством воды (например, после сильных дождей), чтобы уменьшить риск и предотвратить возможные проблемы при последующих процессах обработки воды. С другой стороны, экономические факторы, в особенности стоимость энергии, могут сделать использование грунтовых вод слишком дорогим и вынудить принять решение об использовании более доступных поверхностных водных ресурсов.

4.2. Обработка воды

После защиты источника воды следующим барьером для предотвращения загрязнения питьевой воды является применение физических и химических процессов обработки воды. Большинство систем обработки воды спроектировано таким образом,

чтобы устранить микробное загрязнение и те физические компоненты, которые влияют на пригодность воды или способствуют выживанию микроорганизмов. Процессы обработки обычно направлены либо на физическое устранение загрязнителей посредством фильтрации или осаждения, либо на биологическое устранение микроорганизмов. Существует несколько вариантов обработки воды с целью довести ее до состояния, пригодного для питья, в зависимости от имеющихся ресурсов для обработки и поддержания качества, уровня подготовки операторов и происхождения источника воды. Однако обычно обработка воды проходит в несколько этапов: начальная предочистка — первичное фильтрование через крупнозернистые материалы, флокуляция и осаждение, фильтрация через песочный фильтр (быстрая или медленная) и затем хлорирование. Такой подход называется **многобарьерным принципом**. Наличие нескольких барьеров предотвращает полный срыв обработки воды, если нарушается какой-либо один процесс.

4.2.1. Основная обработка воды на местном уровне

Во многих сельских районах водоснабжение входит в обязанности местных властей, которые, имея ограниченные финансовые средства и технические возможности, должны обеспечить водой жителей небольшого населенного пункта. Коллективное водоснабжение как в развивающихся, так и в развитых странах чаще, чем централизованное, бывает причиной вспышек болезней, связанных с водой. Коллективному водоснабжению и управлению им посвящен один из разделов 3-го тома «Руководства по обеспечению качества питьевой воды» (3-е издание), выпущенного ВОЗ (WHO, 2004). Сегодня в рамках национальной и международной политики признается, что для достижения целей по водоснабжению и санитарии, указанных в «Целях развития тысячелетия», коллективному водоснабжению в срочном порядке должно быть уделено внимание.

Для обеспечения согласованных действий в масштабе всего мира была сформирована «Международная сеть управления небольшими коммунальными системами водоснабжения». Эта сеть открыта для всех лиц, занимающихся данной проблемой с политической, научной и практической точек зрения. Она занимается выявлением общих и технических проблем управления, связанных с коллективным водоснабжением, и пытается найти выполнимые решения с учетом географического и культурного контекстов⁵.

В небольших сельских населенных пунктах защита источников воды (см. подразделы 4.1.2—4.1.4) может быть единственно возможной профилактической мерой. Что касается больших населенных пунктов, то в них потребность в воде высока и нередко может быть удовлетворена только путем использованием дополнительных источников, вода в которых может иметь плохое микробиологическое качество. Для того чтобы превратить такую воду в безопасную и вкусную питьевую воду, потребуются использование всех ресурсов обработки воды.

Многие программы сельского водоснабжения направлены на создание систем, которые могут полностью управляться потребителями лишь при ограниченной до-

⁵ Более подробную информацию о Сети можно получить на сайте штаб-квартиры ВОЗ по адресу: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/smallcommunity/en/index.html. Последнее обращение 23 декабря 2010 г.

полнительной поддержке местных органов управления. Хотя это может сделать коллективное владение более осуществимым, от местного населения также требуется участие в программах. Подобное участие может быть краткосрочным, например таким, как капиталовложения в строительство, или долгосрочным, например регулярное осуществление технического обслуживания. Техническое обслуживание является жизненно необходимым, но его важность часто недооценивают. Если оно не проводится, качество воды из источника может ухудшиться, поэтому важно вовлечь всех членов сообщества в работу на всех этапах создания улучшенного водоснабжения.

Существует несколько типов водоисточников, которые могут быть доступны для сельских населенных пунктов.

1. Защищенные родники. Несмотря на то что защищенные родники почти не требуют технического обслуживания, каждые 1–3 месяца должны проводиться следующие основные проверки.

- Изменяет ли вода цвет после дождя?
- Проводилось ли в последнее время тестирование качества воды?
 - Получило ли сообщество результаты теста?
- Сохранился ли травяной покров на площади за подпорной стенкой?
- Есть ли на подпорной стенке признаки разрушения?
 - Возможен ли ее ремонт местными силами?
- Необходима ли очистка канавы, ведущей в гору?
- Необходима ли очистка канавы, ведущей вниз?
- Требуется ли ремонт ограды?
- Нужно ли скосить траву за подпорной стенкой?
- Протекают ли выпускные трубы?

2. Пруды и озера. Пруды и озера традиционно использовались как источники питьевой воды. Несмотря на то что они легко загрязняются, качество воды может быть легко улучшено при аккуратном использовании. Как минимум, вода должна быть обработана дезинфицирующим средством. Самым популярным дезинфицирующим средством является хлор, хотя можно использовать и другие. Для хлорирования применяют раствор гипохлорита кальция или натрия, газообразный хлор и другие соединения, содержащие хлор. Достичь правильного соотношения хлора и воды сложно — если хлора слишком мало, он не убьет патогенные микроорганизмы, а если слишком много — у воды будет неприятный привкус и могут появиться побочные продукты хлорирования в высоких концентрациях.

Имеются готовые системы обработки воды, называемые «передвижными очистными установками». Однако, когда они выходят из строя, для ремонта обычно требуются специалисты и оборудование, что обходится недешево.

Выдерживание воды в резервуарах может сократить число фекальных микроорганизмов благодаря осаждению и инаktivации, в том числе солнечному (ультрафиолетовому) обеззараживанию. Большинство патогенных микроорганизмов фекального происхождения (желудочно-кишечные микроорганизмы) не способны выживать в окружающей среде неопределенно долго. Большая часть кишечных бактерий погибнет через несколько недель, вирусы и простейшие сохраняют жизнеспособность дольше (от недель до месяцев), но нередко устраняются осаждением. Выдерживание воды позволяет также осесть взвешенному материалу, что делает последующее обеззараживание более эффективным и сокращает образование побочных продуктов обеззараживания. При выдерживании воды в озерах и водохранилищах содержание бактерий — индикаторов фекального загрязнения, *Salmonella spp.* и энтеровирусов падает на 99%; эта цифра максимальна в летний период при выдерживании воды в течение 3–4 недель.

3. Грунтовые воды. Несмотря на то что грунтовые воды считаются чистым и безопасным источником, необходимо проверить химические и микробиологические показатели каждой новой скважины, чтобы убедиться в безопасности воды. Наиболее часто применяемым способом обработки грунтовых вод является хлорирование. Однако как основное дезинфицирующее средство хлор используется только для грунтовых вод, на которые не влияют непосредственно поверхностные воды и риск загрязнения которых *Giardia spp.* и *Cryptosporidium spp.* отсутствует. Озонирование — еще одна возможность, но оно может не подходить для небольших сельских систем, так как требуется, чтобы озон вырабатывался на месте. Такая же проблема возникает при использовании двуокиси хлора.

Самые частые проблемы качества сельских грунтовых вод и пути их решения представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Загрязнители сельских грунтовых вод и возможные методы обработки воды

Загрязнитель	Источники	Обработка
Нитраты	Естественные нитраты, удобрения, просачивание фекалий человека и животных	Смешивание с водой, имеющей низкое содержание азота, обратный осмос, мембранная фильтрация, реверсивный электродиализ, ионный обмен
Железо и марганец	Восстанавливающие железо и марганец анаэробные бактерии на стенках скважин	Аэрация, окисление, ионный обмен, добавление реагента, предотвращающего осаждение
Привкус и запах	Растворенные газы, биологический рост, органические и неорганические загрязнители	Аэрация, гранулированный активированный уголь

Источник: WHO, 2006, с изменениями.

4.2.2. Централизованная обработка воды

Существует много различных способов обработки воды. В настоящем разделе дается описание основных процессов, используемых при полной обработке воды. Все они являются важными, но следует отметить, что не всякой воде требуется полная обработка.

В каждом конкретном случае следует определить требуемый объем обработки, чтобы выбрать наилучший способ ее проведения. Выбор технологии для водоочистительных установок осуществляется с учетом стоимости, опыта операторов и типа водоемкости. Следует учитывать также сезонные колебания качества сырой воды и возможность долговременных изменений в связи с развитием района водосбора. Существует большое количество описаний технических процессов, используемых при обработке воды, рассмотрение которых не входит в задачи настоящего руководства.

Обработка воды включает в себя широкий диапазон последовательных операций (Gray, 1996). Они перечислены ниже.

1. Предочистка.
2. Коагуляция.
3. Флокуляция.
4. Осветление.
5. Фильтрация.
6. Регулирование pH.
7. Обеззараживание.
8. Умягчение.
9. Устранение осадка.

Обычно ни на одном водоочистном сооружении не выполняются все операции. Набор операций зависит от качества сырой воды, поступающей в водоочистные сооружения, и требуемого качества воды после обработки.

4.2.2.1. Предочистка

Предочистка в широком смысле может быть определена как любой процесс, используемый для изменения качества воды до поступления ее в водоочистное сооружение. Она включает в себя хранение, предварительную проверку, микрофильтрацию и аэрацию. Операции предочистки могут быть сравнимы с различными процессами обработки, сложность которых изменяется от простого обеззараживания до мембранных процессов. Пользой от предочистки является сокращение или стабилизация микробиологической нагрузки на процесс обработки.

4.2.2.2. Коагуляция, флокуляция, осаждение и фильтрация

Коагуляция, флокуляция, осаждение (или флотация) и фильтрация являются операциями, которые используются для удаления из воды частиц, в том числе микроорганизмов (бактерий, вирусов и простейших). Для обеспечения согласованного и надежного процесса важно, чтобы операции были оптимизированы и проводились под контролем специалистов. Часто это единственные операции, которые эффективно удаляют простейших, например *Cryptosporidium spp.*

4.2.2.2.1. Коагуляция

После пропуска воды через микрорешетку в ней остаются взвешенные твердые вещества только небольших размеров. Коагуляция удаляет частицы (в том числе микроорганизмы), которые слишком малы, чтобы осесть естественным образом. Коагулянт добавляется в воду для того, чтобы дестабилизировать частицы и способствовать их агрегации в частицы большего размера, называемые «хлопьями». Могут использоваться различные коагулянты. Наиболее распространенные из них: сульфат алюминия, гидроокись алюминия, гидроксихлорид алюминия, хлорид железа (II), хлорид железа (III), сульфат железа (III) и известь. Химическая коагуляция — наиболее важный шаг, от которого зависит эффективность очистки с использованием процессов коагуляции, флокуляции и осветления. Она непосредственно влияет на эффективность очистки при фильтрации гранулированными средами и имеет косвенное влияние на эффективность процесса обеззараживания. Маловероятно, что процесс коагуляции может вызвать какую-либо микробиологическую опасность для очищенной воды, однако его неэффективность или невыполнение может привести к высокому микробиологическому риску для потребителей питьевой воды. Сообщалось о многих случаях криптоспориоза в связи с неудачей на этом этапе обработки воды (см. обзор Rose, Huffman & Gennaccaro, 2002).

Коагуляция и флокуляция требуют специалистов высокой квалификации. Если к воде добавить слишком мало коагулянта, коагуляция будет неэффективной и фильтровальный аппарат слишком быстро засорится. Если добавить слишком много коагулянта, то в обработанной воде будет находиться чрезмерное количество химического вещества. Небольшой избыток коагулянта может никак не повлиять на здоровье, но высокие концентрации коагулянта способны серьезно отразиться на здоровье потребителей, как это произошло во время аварии в Кемелфорде, Великобритания (David & Wessley, 1995). Принимая решение использовать коагуляцию в процессе обработки воды, следует тщательно проверить возможности регулярного снабжения химическими средствами и наличие квалифицированного персонала.

4.2.2.2.2. Осаждение

Цель осаждения — удалить частицы, включая хлопья, образованные в процессе коагуляции. При обработке воды она перемещается вверх от основания отстойника. Хлопья, которые тяжелее воды, идут ко дну; таким образом, оператор должен регулировать скорость осаждения по отношению к восходящему потоку воды так, чтобы все частицы остались в отстойнике как взвешенный слой осадка. Правильная эксплуатация отстойников имеет важнейшее значение для сведения к минимуму количества частиц, проходящих через очистное сооружение. Наиболее серьезная проблема, которой нужно избегать, — колебания скорости потока, ведущие к тому, что взвешенный слой осадка, через который проходит вода, слишком расширяется. В результате этого частицы могут выйти из отстойника вместе с обработанной водой.

На осаждение могут влиять следующие факторы: размер, форма и вес хлопьев, вязкость и, следовательно, температура воды, время выдерживания воды, количество, глубина и площадь отстойников, скорость перелива через край отстойника, скорость потока, конструкция впускных и выпускных труб. Осадок — это концентрированная смесь всех загрязнителей, обнаруженных в воде, особенно бактерий, вирусов и цист простейших. Поэтому необходимо планировать сбор и безопасную утилизацию осадка из отстойников. Слишком редкое удаление осадка может привести к тому, что частицы уйдут из от-

стойника вместе с обрабатываемой водой. Флотация является альтернативой процессу осаждения в том случае, когда количество взвешенной примеси невелико.

4.2.2.2.3. Фильтрация

После осаждения вода содержит только мелкие твердые частицы и растворенные вещества. Для устранения этого остаточного материала необходима фильтрация. При обработке питьевой воды используются различные процессы фильтрации, включая применение гранулярных фильтров, быстродействующих и гравитационных песочных фильтров, фильтров на подкладке и мембранных фильтров (микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос). При соответствующей конструкции и эксплуатации фильтров они могут быть постоянным и эффективным барьером для патогенных микроорганизмов. Фильтрация через гранулированную среду может в некоторых случаях быть единственным барьером (например, удаление ооцист *Cryptosporidium spp.* с помощью прямой фильтрации, когда в качестве единственного дезинфицирующего средства используется хлор).

4.2.2.2.4. Быстродействующая и гравитационная фильтрация

Быстродействующие песочные фильтры содержат крупнозернистый кварцевый песок (диаметром 1 мм), так что расстояние между песчинками относительно велико и вода проходит через фильтр быстро. Они используются для воды, которая была предварительно обработана путем коагуляции и осаждения, и менее эффективны для устранения микроорганизмов. Мутность изменяется в зависимости от интервала времени между промывками обратным потоком. Непосредственно после промывки обратным потоком результат обработки неудовлетворителен, следует ждать, пока слой песка не уплотнится. Эффективность может также постепенно ухудшаться на стадии, когда необходима промывка обратным потоком, так как хлопья могут просочиться через слой песка в обработанную воду. Это подчеркивает необходимость соответствующего надзора и контроля за фильтрацией.

Гравитационную фильтрацию через песочный фильтр проводить проще, чем быстродействующую, так как частой промывки обратным потоком не требуется. Поэтому она особенно подходит для развивающихся стран и небольших сельских систем водоснабжения, но применима только при достаточной площади земельного участка.

Когда песочный фильтр для гравитационной фильтрации впервые вводится в эксплуатацию, на песчинках образуется микробная слизь, особенно на поверхности фильтрующего слоя. Она состоит из бактерий, свободно живущих реснитчатых простейших и амёб, ракообразных и личинок беспозвоночных, которые образуют пищевые цепи. В результате происходит окисление органических веществ, содержащихся в воде, и превращение аммиачного азота в нитрат. Патогенные бактерии, вирусы и паразиты в покоей стадии удаляются главным образом благодаря адсорбции и последующему уничтожению хищными организмами. При правильной нагрузке гравитационная песочная фильтрация обеспечивает наибольшее улучшение качества воды из всех отдельно взятых способов обычной очистки воды. Удаляются как минимум 98—99,5% бактерий, содержание *E. coli* снижается в 1000 раз, а содержание вирусов — еще сильнее. Гравитационная песочная фильтрация также очень эффективна при удалении паразитов (гельминтов и простейших). Однако вода, выходящая из песочного фильтра, как быстродействующего, так и гравитационного, может содержать некоторое количество *E. coli* и вирусов, особенно на ранней стадии фильтрации и в случае холодной воды. Недоста-

ток фильтра этого типа в том, что он дорог в эксплуатации и требует больших затрат труда, так как слой грязи, который собирается на поверхности песка, препятствует дренажу и должен быть удален после осушения фильтра.

И быстродействующие, и гравитационные песочные фильтры сложны в эксплуатации, а ошибки могут привести к проблемам. Самая серьезная из них — если слой песка упадет и позволит пройти нефilterованной воде.

4.2.2.2.5. Обеззараживание

Обеззараживание воды должно считаться обязательным для всех трубопроводных систем водоснабжения, в которых используются поверхностные воды, в том числе из незагрязненных источников высокого качества, так как число барьеров, препятствующих попаданию патогенных микроорганизмов в систему водоснабжения, всегда должно быть больше одного. В крупных, хорошо эксплуатируемых системах водоснабжения в этом случае с большей вероятностью удастся соблюсти регуляторные требования к воде.

Хотя гравитационные песочные фильтры высокоэффективно удаляют бактерий, а процесс коагуляции хорошо подходит для удаления вирусов, обработанная вода все еще может содержать патогенные вирусы и бактерии, которые должны быть устранены или уничтожены. Практически невозможно стерилизовать воду без использования очень высоких концентраций химикатов, что делает воду неприятной и, возможно, опасной для питья. Поэтому окончательное обеззараживание воды в системах питьевого водоснабжения имеет очень важное значение и является почти универсальным средством, так как служит последним барьером на пути передачи бактериальных и вирусных болезней, связанных с водой. Чаще всего для обеззараживания воды используются хлор и гипохлориты, но применяют также хлорамин, двуокись хлора, озон и ультрафиолетовое облучение.

Эффективность любого процесса обеззараживания зависит от степени предварительной очистки воды, так как дезинфицирующие средства могут в большей или меньшей степени нейтрализовываться органическим веществом и легко окисляющимися соединениями, которые имеются в воде. Микроорганизмы, объединенные с частицами или адсорбированные ими, будут также частично защищены от действия дезинфицирующих средств. Известны многие случаи, когда дезинфекция не уничтожала фекальных бактерий и патогенные микроорганизмы, передаваемые через воду, если мутность превышала 5 нефелометрических единиц мутности (НЕМ). Поэтому существенно, чтобы после процессов очистки, предшествующих окончательному обеззараживанию, средняя мутность воды была не выше 1 НЕМ, а мутность отдельных проб — не выше 5 НЕМ. Правильная эксплуатация водоочистных установок обычно обеспечивает мутность гораздо ниже этих уровней.

Примеры различий между минимальным и максимально возможным удалением патогенных микроорганизмов приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5. Удаление патогенных микроорганизмов при отдельных процессах обработки

Процесс обработки	Группа возбудителей кишечных инфекций	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
Предочистка			
Грубая фильтрация	Бактерии	50%	До 95%, при условии защиты от пиков помутнения динамическим фильтром или использовании только после выдерживания воды
	Вирусы	Данных нет	
	Простейшие	Данных нет, некоторое удаление возможно	Удаление простейших, вероятно, происходит одновременно с устранением мутности
Пропуск воды через микрорешетку	Бактерии, вирусы, простейшие	0%	Обычно неэффективна
Береговое накопление	Все	Повторное загрязнение может быть значительным и увеличить уровень загрязнения поступающей воды; размножение водорослей может ухудшить качество воды	Прекращение водозабора в периоды максимального помутнения равноценно 90% удалению. Хранение в отдельных накопителях повышает степень удаления в 15–230 раз
	Бактерии	0% (подразумевается короткий цикл)	90% в течение 10–40 дней фактического хранения
	Вирусы	0% (подразумевается короткий цикл)	93% в течение 100 дней фактического хранения
	Простейшие	0% (подразумевается короткий цикл)	99% в течение 3 недель фактического хранения
	Бактерии	99,9% через 2 минуты 99,99% через 4 минуты (минимум рассчитан по удалению вирусов)	
	Вирусы	99,9% через 2 минуты 99,99% через 4 минуты	
Береговая фильтрация	Простейшие	99,99%	
	Коагуляция/флокуляция/осаждение		
	Бактерии	30%	90% (в зависимости от коагулянта, pH, температуры, щелочности и мутности)
Обычное осветление	Вирусы	30%	70% (см. выше)
	Простейшие	30%	90% (см. выше)
	Бактерии	Не менее 30%	
	Вирусы	Не менее 30%	
	Простейшие	95%	99,99% (в зависимости от использования соответствующего слоя полимера)
Интенсивное осветление	Бактерии	Не менее 30%	
	Вирусы	Не менее 30%	
	Простейшие	95%	99,99% (в зависимости от использования соответствующего слоя полимера)

Процесс обработки	Группа возбудителей кишечных инфекций	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
Флотация растворенным воздухом	Бактерии	Нет данных	
	Вирусы	Нет данных	
	Простейшие	95%	99,9% (в зависимости от pH, дозы коагулянта, времени флокуляции и коэффициента рециркуляции)
Известковое умягчение	Бактерии	20% при pH 9,5 в течение 6 ч при 2–8°C	99% при pH 11,5 в течение 6 ч при 2–8°C
	Вирусы	90% при pH 11 в течение 6 ч	99,99 при pH 11 (в зависимости от вируса и времени осаждения)
	Простейшие	Низкая инаktivация	99% при быстром осаждении и инаktivации при pH 11,5
Ионный обмен	Бактерии	0%	
	Вирусы	0%	
	Простейшие	0%	
Фильтрация			
Быстродействующая гранулярная фильтрация	Бактерии	Нет данных	99% при оптимальных условиях коагуляции
	Вирусы	Нет данных	99,9% при оптимальных условиях коагуляции
	Простейшие	70%	99,9% при оптимальных условиях коагуляции
Гравитационная фильтрация песочными фильтрами	Бактерии	50%	99,5% при оптимальных выдерживании, очистке и повторном заполнении, а также в отсутствие коротких циклов
	Вирусы	20%	99,99% при оптимальных выдерживании, очистке и повторном заполнении, а также в отсутствие коротких циклов
	Простейшие	50%	99% при оптимальных выдерживании, очистке и повторном заполнении, а также в отсутствие коротких циклов
Фильтрация через намывной слой, в том числе содержащий диатомит и перлит	Бактерии	30–50%	96–99,9% при использовании химической предочистки с коагулянтами или полимером
	Вирусы	90%	98% при использовании химической предочистки с коагулянтами или полимером
	Простейшие	99,9%	99,99% (в зависимости от размера частиц фильтрующего материала и скорости фильтрации)

Процесс обработки	Группа возбудителей кишечных инфекций	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
Мембранная фильтрация – микрофильтрация	Бактерии	99,9–99,99% при условии надлежащей предочистки и сохранения целостности мембраны	
	Вирусы	90%	
	Простейшие	99,9–99,99% при условии надлежащей предочистки и сохранения целостности мембраны	
Мембранная фильтрация – ультрафильтрация	Бактерии	Полное удаление при условии надлежащей предочистки и сохранения целостности мембраны	
Нанофильтрация и обратный осмос	Вирусы	Полное удаление нанофильтрацией и обратным осмосом при меньших размерах пор ультрафильтров, при условии надлежащей предочистки и сохранения целостности мембраны	
	Простейшие	Полное удаление при условии надлежащей предочистки и сохранения целостности мембраны	
Обеззараживание			
Хлор	Бактерии	Ct_{99} : 0,08 мг·мин/л при 1–2°C, pH 7; 3,3 мг·мин/л при 1–2°C, pH 8,5	
	Вирусы	Ct_{99} : 12 мг·мин/л при 0–5°C; 8 мг·мин/л при 10°C, в обоих случаях при pH 7–7,5	
	Простейшие	<i>Giardia</i> spp. 230 мг·мин/л при 0,5°C; 100 мг·мин/л при 10°C; 41 мг·мин/л при 25°C; во всех случаях при pH 7–7,5. <i>Cryptosporidium</i> spp. не уничтожаются	
Монохлорамин	Бактерии	Ct_{99} : 94 мг·мин/л при 1–2°C, pH 7; 278 мг·мин/л при 1–2°C, pH 8,5	
	Вирусы	Ct_{99} : 1240 мг·мин/л при 1°C; 430 мг·мин/л при 15°C; в обоих случаях при pH 6–9	
	Простейшие	<i>Giardia</i> spp. Ct_{99} : 2250 мг·мин/л при 1°C; 1000 мг·мин/л при 15°C; в обоих случаях при pH 6–9. <i>Cryptosporidium</i> spp. не уничтожаются	
Двуокись углерода	Бактерии	Ct_{99} : 0,13 мг·мин/л при 1–2°C, при pH 7; 0,19 мг·мин/л при 1–2°C, при pH 8,5	

Процесс обработки	Группа возбудителей кишечных инфекций	Минимальное удаление	Максимально возможное удаление
Озон	Вирусы	Ct_{99} : 8,4 мг·мин/л при 1°C; 2,8 мг·мин/л при 15°C; в обоих случаях при pH 6–9	
	Простейшие	<i>Giardia</i> spp. Ct_{99} : 42 мг·мин/л при 1°C; 15 мг·мин/л при 10°C; 7,3 мг·мин/л при 25°C; во всех случаях при pH 6–9. <i>Cryptosporidium</i> spp. Ct_{99} : 40 мг·мин/л при 22°C, pH 8	
	Бактерии	Ct_{99} : 0,02 мг·мин/л при 5°C, pH 6–7	
	Вирусы	Ct_{99} : 0,9 мг·мин/л при 1°C; 0,3 мг·мин/л при 15°C	
	Простейшие	<i>Giardia</i> spp. Ct_{99} : 1,9 мг·мин/л при 1°C; 0,63 мг·мин/л при 15°C, pH 6–9. <i>Cryptosporidium</i> spp. Ct_{99} : 40 мг·мин/л при 1°C; 4,4 мг·мин/л при 22°C	
Ультрафиолетовое облучение	Бактерии	Инаktivация 99%: 7 мДж/см ²	
	Вирусы	Инаktivация 99%: 59 мДж/см ²	
	Простейшие	<i>Giardia</i> spp. инаktivация 99%: 5 мДж/см ² . <i>Cryptosporidium</i> spp. инаktivация 99,9%: 10 мДж/см ²	

Примечание: Ct_{99} – произведение концентрации дезинфицирующего средства (C) на время его контакта с водой (t), необходимое для уничтожения 99% микроорганизмов. Величины Ct и дозы ультрафиолетового излучения даны для микроорганизмов, находящихся во взвешенном состоянии, а не в составе частиц или биопленок.

Источник: LeChevallier & Kwok-Keung Au, 2004; с изменениями.

Во многих странах отдельные установки водоочистительной станции для обработки питьевой воды не работают с запланированным уровнем эффективности. Плохой проект, плохое выполнение проекта, неправильная реализация отдельных компонентов проекта усугубляют проблему. Необходима всеобъемлющая программа оценки опасностей и анализа факторов риска для выявления уязвимых элементов станции для обработки воды. Эта программа станет одним из ключевых компонентов плана по обеспечению безопасности воды.

Наилучший способ обследования работы станции и выявления уязвимых элементов – проследить маршрут потока воды, начиная с забора сырой воды и до резервуара очищенной воды. При этом сначала необходимо проконтролировать работу каждой установки, отмечая явные проблемы, а затем определить возможные решения этих проблем. Следующий шаг заключается в анализе результатов планового взятия проб, чтобы оценить функционирование каждой установки.

Важность технического обслуживания станции очевидна, тем не менее оно нередко бывает недостаточным, и поэтому требуются постоянное внимание к функционированию станции и действия руководства, направленные на то, чтобы работники осознали эту важность. Это серьезная проблема, и ее глубокое обсуждение выходит за рамки настоящего руководства. Техническое обслуживание охватывает использование и обслуживание конструкций и оборудования станции таким образом, чтобы продлить срок эксплуатации, избежать аварий и чрезвычайных ситуаций. Можно сформулировать следующие общие правила, касающиеся технического обслуживания.

- Обеспечьте порядок — все должно быть чистым, на своем месте и в рабочем состоянии.
- Разработайте план повседневных операций и придерживайтесь его.
- Корректируйте повседневный план в соответствии с опытом и обстоятельствами.
- Следуйте рекомендациям производителей в отношении технического обслуживания оборудования и управления им.
- Разработайте процедуру проверки и смазки каждого оборудования и выполняйте ее.
- Регистрируйте операции технического обслуживания и ремонта каждого вида оборудования.
- Разработайте план технического обслуживания конструкций предприятия. Большинство операций по обработке воды проводятся в условиях коррозии, и поэтому защитные покрытия необходимо периодически восстанавливать. Если не ремонтировать бетонные покрытия, может обнажиться арматура, что приведет к ослаблению конструкции и выходу ее из строя. Хорошее техническое обслуживание позволит избежать дорогостоящих потерь.
- Содержите хорошо оснащенную мастерскую с компетентным электромехаником, имеющую достаточные запасы труб, электрического кабеля и основных запасных частей для ремонта.

В связи с опасным характером многих химических веществ и работ, выполняемых на водоочистных станциях, следует разработать четкие руководства по охране здоровья и безопасности и придерживаться их. Основные компоненты руководств должны охватывать следующее.

- Электрические и механические опасности.
- Химические опасности, связанные с обработкой воды.
- Опасности, связанные с хранением и использованием химических веществ.
- Ситуации, которые могут привести к возгоранию.
- Токсичность хлора и правила обращения с ним.

- Контроль движения транспорта на рабочих участках.
- Строительные работы на объекте и (или) опасности, связанные с котлованами.
- Работа в замкнутых и (или) плохо вентилируемых помещениях.
- Опасности для слуха и зрения.
- Первая помощь.

4.3. Уязвимость в водораспределительной системе

Водораспределительная сеть доставляет воду от места обработки до потребителя. Ее конструкция и размеры определяются размерами и топографией обслуживаемой территории. Назначением сети является непрерывное снабжение потребителя достаточным количеством очищенной питьевой воды; следует предотвращать ухудшение качества воды во время транспортировки, так как это может представлять значительный риск для здоровья. Подобное ухудшение качества может произойти в связи с нарушением целостности сети и изменениями химических и микробиологических характеристик воды во время транспортировки.

4.3.1. Нарушенная целостность сети

Службы водоснабжения играют важную роль в обеспечении целостности сети и, следовательно, постоянной безопасности воды.

Вода, поступающая в водораспределительную систему, должна быть микробиологически чистой и, в идеале, биологически стабильной. Сама водораспределительная система должна служить надежным барьером для загрязнения воды после обработки, когда вода транспортируется к потребителю. Последующее обеззараживание обеспечивает частичную защиту от повторного загрязнения, но в то же время может скрывать наличие такого загрязнения.

Водораспределительные системы должны быть полностью огорожены, а хранилища должны быть закрыты надежными крышами и иметь внешний дренаж для предотвращения загрязнения. Следует внедрить мероприятия по предотвращению обратного потока и контролировать их. Должны существовать эффективные процедуры технического обслуживания для устранения неисправностей и разрывов труб, чтобы предотвратить загрязнение. На всем протяжении водораспределительной системы должно поддерживаться положительное давление воды. Необходимы соответствующие меры безопасности, чтобы предупредить несанкционированный доступ к хранилищам воды и (или) воздействие на них.

Загрязнение водораспределительной системы может произойти следующими путями.

- **Инфильтрация.** Загрязненная вода из подповерхностного слоя попадает в водораспределительную систему, когда в недостаточно защищенной ее части создается зона низкого давления. Перепады давления в водораспределительной системе могут вызвать изменения в сети, увеличивая попадание в нее загрязненной воды.

- **Обратное засасывание.** Вода, загрязненная фекалиями, может попасть в водораспределительную систему или резервуар для хранения воды путем обратного засасывания, возникающего в связи с падением давления в трубопроводе и физической связью источника загрязненной воды с хранилищем или водораспределительной системой.
- **Открытые резервуары для хранения питьевой воды.** Микробное загрязнение водораспределительной системы возможно также через открытые резервуары для хранения питьевой воды.
- **Строительство и ремонт трубопроводов.** При строительстве или ремонте существующих трубопроводов и вводе в эксплуатацию новых следует строго соблюдать протоколы, касающиеся обеззараживания и промывки, чтобы предотвратить попадание в систему загрязненной почвы.
- **Случайное подключение.** Случайное подключение источников сточных или ливневых вод к водораспределительной системы может произойти в результате человеческой ошибки или в результате незаконных и несанкционированных действий.
- **Прямое подключение.** Физическое соединение систем трубопроводов питьевой и технической воды.
- **Косвенное подключение.** Косвенное подключение может возникнуть, например, при наличии рукава, соединяющего источник питьевой воды с загрязненной водой, или при просачивании сточных вод в трубопроводы питьевой воды.

При нарушении физической целостности водораспределительной системы, даже если в воде содержатся остатки дезинфицирующего средства, патогенные микроорганизмы могут появиться в концентрациях, которые вызовут вспышки болезней, связанных с водой.

Ремонтные работы на водных магистралях создают опасность загрязнения. Локальное падение давления может привести к обратному засасыванию загрязненной воды, если в водопроводной системе потребителей не установлены запорные клапаны. По завершении ремонтных работ необходимо прочистить и продезинфицировать трубы, а затем освободить их от воды и вновь наполнить водой из водопроводной магистрали. Спустя 24 часа воду следует протестировать на бактериологическое загрязнение.

Если магистральная сеть повреждена, существует риск попадания в нее загрязненной воды из разрушенного канализационного коллектора или дренажного канала. Уровень хлорирования должен быть увеличен, а магистральная сеть не должна эксплуатироваться до того, как качество воды не станет удовлетворительным.

Подземные хранилища и рабочие резервуары должны инспектироваться для обнаружения ухудшения качества воды и инфильтрации поверхностных и грунтовых вод. Желательно огородить участок, под которым находится подземное хранилище, чтобы предотвратить доступ к нему людей и животных, а также разрушение конструкций.

Хранение имеет важнейшее значение для обеспечения безопасности воды в месте потребления. Для охраны здоровья человека необходимы конструкционная целостность и безопасное обращение с надземными резервуарами для хранения воды, включая небольшие площади для хранения на уровне домохозяйств.

Поставки с перебоями, либо в связи с запланированным прекращением подачи воды в определенные моменты времени, либо в связи с (незапланированными) перебоями энергоснабжения, во многих странах — обычное явление. Контроль качества питьевой воды при поставках с перебоями является серьезной проблемой для здравоохранения, так как значительно увеличивается риск инфильтрации и обратного засасывания. Риск может возрасти в зависимости от времени года, так как влажность почвы увеличивает вероятность возникновения градиента давления между почвой и трубой. Если источник воды, подаваемой с перебоями, загрязняется, возобновление подачи сопряжено с увеличением риска для потребителей, когда «пробка» загрязненной воды с силой выходит из домашних кранов. Поставки с перебоями часто приводят к созданию домашних запасов воды, что также может быть опасно для здоровья человека.

По оценкам, более половины городских систем водоснабжения Азии работает с перебоями. Прерывистое водоснабжение существенно ограничивает наличие воды для гигиенических целей. Сообщение о том, что система осуществляет водоснабжение более половины времени, скрывает значительные местные различия между системами и различия в пределах каждой водораспределительной сети. Если системы функционируют с перерывами, загрязнение может также произойти путем поступления загрязненной воды в водопровод через плохие соединения, трещины и т. д. Кроме того, трубопроводы подвержены дополнительным нагрузкам, создаваемым попадающими в него нестационарными потоками, что влияет на долговечность системы и ослабляет трубы и соединения (WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme, 2000).

Меры регулирования включают в себя использование устойчивых производных дезинфицирующих химических средств (например, хлорамин вместо свободного хлора), изменения в эксплуатации с целью сокращения времени нахождения воды в системе (чтобы избежать застоя в резервуарах хранения и тупиковых обводных трубах), выполнение программы замены труб, промывки и повторного наполнения, а также поддержание положительного давления в водораспределительной системе.

Для того чтобы следить, поставляется ли водораспределительная система воду приемлемого качества, чаще всего используют тестирование воды на наличие бактерий — индикаторов фекального загрязнения. Однако существуют патогенные микроорганизмы, которые более устойчивы к обеззараживанию хлором, чем бактерии-индикаторы, — в частности, термостойкие колиформные бактерии и (или) *E. coli* и энтерококки.

4.3.2. Ухудшение микробиологического качества воды

Система распределения питьевой воды обеспечивает среду существования для микроорганизмов, которые поддерживаются присутствующими в воде органическими и неорганическими питательными веществами.

Бактерии и грибы свободно растут в воде и образуют пленки на стенках труб, что делает их более стойкими к остаточному хлору. К основным бактериям, встречающимся в во-

дораспределительных системах, относятся, в частности, *Acinetobacter spp.*, *Aeromonas spp.*, *Listeria spp.*, *Flavobacterium spp.*, *Mycobacterium spp.*, *Pseudomonas spp.* и *Pleisiomonas spp.* Тип микроорганизмов и их численность зависят от множества факторов, таких как источник воды, вид ее обработки, остаточное дезинфицирующее средство и уровни питательных веществ в обработанной воде. Образование биопленок приводит к выживанию других бактерий, например *Legionella spp.* (Steinert, Hentschel & Hacker, 2002). В биопленках возможно развитие непатогенных колиформных бактерий, но нельзя упускать из виду и нефекальные причины загрязнения.

Питьевая вода, поступающая в водораспределительную систему, может содержать свободно живущих амёб и обитающие в окружающей среде штаммы различных видов бактерий, которых часто называют гетеротрофными бактериями. Многие обитающие в окружающей среде штаммы бактерий, таких как *Citrobacter spp.*, *Enterobacter spp.* и *Klebsiella spp.*, могут образовывать колонии в водораспределительной системе (van der Kooij, 2003). В настоящее время нет данных в пользу того, чтобы связать эти микроорганизмы из биопленок (за исключением, пожалуй, *Legionella spp.* и *Mycobacterium spp.*) с неблагоприятным влиянием на здоровье населения. Исключение, по-видимому, составляют только люди с ослабленным иммунитетом.

Безвредные бактерии могут присутствовать в водораспределительной системе даже при наличии остатков дезинфицирующего средства, и такая вода может не представлять риска для здоровья. Однако чрезмерный микробный рост может ухудшить вид и вкус воды и помешать мониторингу показателей, значимых для здоровья.

Температура воды и концентрация питательных веществ в водораспределительной системе обычно недостаточно высоки для размножения в биопленках *E. coli* (или возбудителей кишечных инфекций). Поэтому наличие *E. coli* должно считаться признаком недавнего фекального загрязнения. Химическую опасность могут нести трубы, припои и герметики, краны, а также химические вещества, используемые для очистки и обеззараживания водораспределительных систем.

Для подавления размножения микробов в водораспределительной системе можно предпринять ряд мер. Сохранение остаточного количества дезинфектанта в водораспределительной системе может защитить воду от повторного загрязнения и уменьшить проблемы, связанные с возобновлением размножения микроорганизмов. Там, где водораспределительная система содержит остаточные количества дезинфектанта, нужно свести к минимуму образование побочных продуктов обеззараживания, которые, по имеющимся данным, в высоких концентрациях (превышающих их концентрации в воде) являются канцерогенными. Содержание *Naegleria fowleri* в воде и осадках в длинных трубопроводах успешно контролируется с помощью хлорирования с аммонизацией.

Рост грибов и актиномицетов регулируется температурой. Их оптимальный рост наблюдается при 25°C. Поэтому необходимо обеспечить, чтобы вода в водораспределительных системах не застаивалась в течение длительного времени и не нагревалась. Длительный период застоя позволяет органическим материалам образовывать хлопья и оседать, что в итоге делает их источником пищи для микроорганизмов. Если вода содержит усвояемые органические соединения углерода и ее температура превышает 20°C, для предотвращения роста *Aeromonas spp.* и других вредных бактерий может потребоваться концентрация остаточного хлора, равная 0,25 мг/л.

Поддержание хорошего качества воды в водораспределительной системе зависит от конструкции этой системы и ее эксплуатации, а также от процедур по предотвращению загрязнения, устранению и предотвращению накопления внутренних отложений и надзора за их выполнением. Для предотвращения загрязнения во время технического обслуживания необходимо соблюдение гигиенических нормативов.

4.4. Планы по обеспечению безопасности воды

Планы по обеспечению безопасности воды (ПОБВ) были впервые определены в 3-м издании «Руководства по обеспечению качества питьевой воды» (WHO, 2004) как «использование комплексного подхода к оценке риска и управлению риском, который охватывает все стадии поставки воды от водозабора до потребителя». Цель ясна: «обеспечить бесперебойное снабжение безопасной и пригодной для питья водой». Большое преимущество стратегии ПОБВ заключается в том, что она применима для обеспечения безопасности воды в системах водоснабжения всех типов и размеров независимо от их простоты или сложности. Другая важная особенность ПОБВ — в том, что этот подход динамичен, применим на практике и не является стандартизированной неизменной процедурой. Поэтому он годится при изменениях количества и качества воды, которые могут произойти в результате чрезвычайных погодных условий. В следующих подразделах будут рассмотрены основные этапы ПОБВ в соответствии с официальным Руководством ВОЗ. Вскоре после него были выпущены специальные руководства (Bartram et al., 2009).

4.4.1. Создание рабочей группы для подготовки ПОБВ

В качестве первого шага при создании ПОБВ необходимо собрать вместе технических специалистов. Члены группы обычно подбираются из состава работников соответствующих предприятий, но она может также включать в себя представителей более широкой группы заинтересованных сторон, несущих коллективную ответственность за понимание функционирования системы водоснабжения и выявление факторов риска, способных повлиять на качество и безопасность воды в цепочке ее поставки. Группа будет отвечать за повседневную разработку, реализацию и корректировку ПОБВ, что является основной частью ее функций. Необходимо, чтобы все члены группы играли активную роль в разработке ПОБВ, поддерживали этот подход и имели ощутимую поддержку со стороны высшего руководства.

Важнейшая первая задача группы — определить, как будет внедряться ПОБВ и какие методики будут использоваться, в частности, для оценки вероятности опасных событий и их последствий.

4.4.2. Описание системы водоснабжения

Многие предприятия водоснабжения имеют описание своих систем. Эту документацию необходимо тщательно проанализировать, включая инспекционные проверки на местах. Опыт показывает, однако, что эти описания нередко приходится обновлять, особенно в отношении более старых частей системы и перспектив развития соответствующего района водосбора. Кроме того, в процессе описания следует учитывать существующие и возможные связи между рассматриваемой и другими системами. Следует рассмотреть два типа связей:

- с теми, от кого предприятие водоснабжения получит поддержку в случае аварии, нарушения функционирования или других чрезвычайных ситуаций;
- с теми, кому предприятие водоснабжения окажет поддержку в случае чрезвычайных ситуаций на других участках обслуживания.

Вторые связи должны не только охватывать участки обслуживания, которых можно достичь благодаря соединениям различных водораспределительных систем, но и учитывать потенциальную необходимость прийти на помощь населению в районах, которые не связаны водопроводом с предприятием водоснабжения.

Цель состоит в том, чтобы последующая документация о качестве сырой, промежуточной и обработанной воды, а также о системе, используемой для подготовки и поставки воды такого качества, была достаточно точной для адекватной оценки факторов риска и управления ими. Каждое предприятие водоснабжения должно оцениваться отдельно. Нужно объединить все данные, которые его касаются, и все дальнейшие действия по созданию ПОБВ осуществлять исключительно для данного предприятия.

4.4.3. Выявление опасностей, угрожающих событий и факторов риска

На этом этапе:

- должны быть выявлены все возможные биологические, физические и химические опасности на каждом этапе снабжения питьевой водой;
- должны быть выявлены все угрозы и события, угрожающие загрязнением или возможным загрязнением, ухудшением или прерыванием водоснабжения;
- выявленные на каждом этапе движения воды должны быть оценены и ранжированы.

4.4.4. Определение и проверка правильности мер контроля, повторная оценка и определение приоритетов рисков

Рабочая группа для подготовки ПОБВ должна задокументировать существующие и возможные меры контроля и оценить, эффективны ли существующие меры. В зависимости от типа контроля для этого прибегают к инспекции предприятия, изучению спецификаций производителя или данных мониторинга. Затем должна быть проведена повторная оценка рисков в отношении вероятности опасных событий и их последствий с учетом всех существующих мер контроля. Снижение риска, достигнутое с помощью той или иной меры контроля, указывает на ее эффективность. В отношении рисков, оставшихся после того, как были приняты во внимание все меры контроля, и которые группа для подготовки ПОБВ сочла неприемлемо высокими, следует продумать дополнительные корректирующие действия.

4.4.5. Разработка, внедрение и осуществление плана улучшения (обновления)

План улучшения включает меры контроля, которые на предыдущем этапе были сочтены несуществующими или неработающими. Для каждого намеченного улучшения назначают ответственного за реализацию и устанавливают сроки реализации. План улуч-

шения (обновления) может предусматривать выполнение кратко-, средне- и долгосрочных программ, капиталовложения, а также пересмотр документации, стандартных процедур и т. д. Могут потребоваться значительные ресурсы, и поэтому необходимо провести детальный анализ и тщательное определение приоритетов в соответствии с оценкой системы. Выполнение плана улучшения (обновления) необходимо контролировать, чтобы убедиться во внедрении улучшений и в их эффективности и обновлении ПОБВ.

4.4.6. Оперативный мониторинг

Оперативный мониторинг включает в себя определение и утверждение мониторинга за мерами контроля, а также разработку процедур, подтверждающих, что меры контроля продолжают выполняться. Эти действия в процессе управления следует документировать. Если оперативные цели не достигнуты, могут потребоваться корректирующие действия.

4.4.7. Проверка эффективности ПОБВ

Наличие формального процесса проверки эффективности и аудита ПОБВ указывает, что он действует нормально. Проверка состоит из трех действий, которые осуществляются совместно, чтобы подтвердить эффективность ПОБВ:

- мониторинг за соблюдением требований;
- внутренний и внешний аудит деятельности предприятия;
- оценка степени удовлетворенности потребителя.

Проверка должна подтвердить, что структура и функционирование системы могут обеспечивать снабжение водой определенного качества, которое отвечает целям охраны здоровья. Если это не так, должен быть пересмотрен и претворен в жизнь план улучшения (обновления).

4.4.8. Отработка процедур управления

Неотъемлемой частью ПОБВ является документация двух типов: процедуры управления, используемые в том случае, когда система работает при номинальных условиях (так называемые стандартные процедуры управления), и корректирующие действия в тех случаях, когда система сталкивается с происшествиями. Документация должна быть составлена опытным персоналом и пересматриваться по мере необходимости, особенно с учетом планов улучшения (обновления) и анализа происшествий, чрезвычайных ситуаций и несостоявшихся угроз. Желательно опросить персонал и убедиться, что его деятельность задокументирована. Это будет также способствовать развитию ответственности за процедуры и их окончательному внедрению.

4.4.9. Разработка программ поддержки

Программы поддержки обычно направлены на подготовку кадров, исследовательскую деятельность и развитие, но могут охватывать и работу вспомогательных служб, например укрепление лабораторий, сертификацию, обновление оборудования и т. д. Приме-

ры другой деятельности включают в себя непрерывное обучение, калибровку оборудования, профилактическое техническое обслуживание, гигиену и санитарию, юридические аспекты водоснабжения и т. д.

4.4.10. Периодический анализ и корректировка

Рабочая группа ПОБВ должна периодически собираться для анализа и корректировки всего плана с учетом накопленного опыта и новых процедур (в дополнение к регулярному анализу и корректировке плана на основе данных, собранных в процессе мониторинга). Процесс анализа и корректировки имеет важнейшее значение для выполнения плана и дает основы для проведения будущих оценок. В случае чрезвычайной ситуации, аварии или несостоявшейся угрозы необходимо заново оценить риск и, возможно, скорректировать план улучшения (обновления).

4.4.11. Пересмотр после инцидента

Важно пересматривать план **после каждой чрезвычайной ситуации, аварии или несостоявшейся угрозы**, для того чтобы гарантировать неповторение ситуации и определить, была ли реакция достаточной, или с ситуацией можно было справиться лучше.

4.4.12. Типичные проблемы

В табл. 4.6 приведена сводка проблем и ожидаемых результатов каждого этапа разработки ПОБВ.

4.5. Обработка воды в месте использования

Обработка в месте использования относится к простым приемлемым дешевым методам, которые могут быть применены на коммунальном или домашнем уровне и дают возможность существенно улучшить микробиологическое качество воды. Эти методы пригодны для ситуаций, когда для обеспечения микробиологической чистоты воды люди могут рассчитывать только на свою инициативу, а также в тех местах, где качество водопроводной воды оставляет желать лучшего. Обработка в месте использования должна сочетаться с безопасным хранением воды (Arnold & Colford, 2007; Fewtrell, Kaufmann et al., 2005; Clasen et al., 2007; Clasen et al., 2006; Clasen et al., 2005; Clasen & Bastadle, 2003; Trevett & Carter, 2005). Описаны различные технологии обработки воды в домашних условиях, и многие из них широко применяются в различных частях мира.

Предочистка с помощью отстаивания или коагуляции нередко тоже помогает в некоторой степени сократить фекальное загрязнение. Могут использоваться следующие технологии предочистки воды с целью устранения мутности (взвешенных частиц).

- **Отстаивание или простое осаждение.** Когда вода содержит взвесь, отстаивание может частицам осесть в течение ночи. Затем чистая вода, находящаяся в верхней части контейнера, переливается в чистый контейнер. Посыпание поверхности воды некоторыми химическими веществами, например сульфатом алюминия или порошком из семян моринги масличной (*Moringa oleifera*), ускоряет осаждение. Отстаивание не удаляет все патогенные микроорганизмы, осадок или глину. Перед употреблением воду следует прокипятить или продезинфицировать.

Таблица 4.6. Проблемы и результаты различных этапов разработки ПОВВ

Этап разработки ПОВВ	Проблемы	Результаты
1. Создание рабочей группы для подготовки ПОВВ	<ul style="list-style-type: none">• Подбор квалифицированного персонала.• Распределение рабочей нагрузки в соответствии со структурой и функциями.• Выявление и привлечение внешних заинтересованных сторон.• Сохранение группы как единого целого в ходе разработки ПОВВ.• Обеспечение эффективного обмена информацией между группой, остальным персоналом предприятия и заинтересованными сторонами	<p>Создание опытной многопрофильной команды, понимающей компоненты системы и способной хорошо оценить факторы риска, которые могут быть связаны с каждым из них. Группа должна осознать цели, в том числе в отношении здоровья, которые должны быть достигнуты. Она должна иметь опыт и знания, достаточные для того, чтобы после проведения оценки решить, обеспечивает ли система определенные стандарты качества воды</p>
2. Описание системы водоснабжения	<ul style="list-style-type: none">• Отсутствие точных карт источника воды, данных о его гидрогеологических характеристиках, картине пополнения запасов воды и взаимосвязях.• Отсутствие карт водораспределительной системы и ее взаимосвязей со смежными системами.• Отсутствие знаний о промышленных предприятиях, мусорных свалках и исторически загрязненных местах.• Выявление всех государственных и местных организаций, которые могут обладать информацией или принять участие.• Время, необходимое персоналу для того, чтобы выполнить работу на местах.• Устаревшие процедуры и документация	<ol style="list-style-type: none">1. Детальное новейшее описание системы водоснабжения, включая графическое представление ее работы.2. Представление о качестве воды, которое предприятие водоснабжения обеспечивает в настоящее время.3. Определение потребителей и назначения воды
3. Выявление опасностей и рисков	<ul style="list-style-type: none">• Возможность упустить новые угрозы и опасные события. (Оценки рисков должны регулярно пересматриваться, с тем чтобы не упустить новые угрозы. Это станет еще более важным по мере появления новых прогностических моделей с высокой детализацией территорий.)• Неопределенность при оценке рисков из-за отсутствия данных, плохого знания операций в цепи водоснабжения и их относительного вклада в риски, создаваемые угрозами и опасными событиями.• Надлежащая оценка вероятности опасных событий и их последствий с достаточной детализацией, что позволит избежать субъективности и противоречивости	<ol style="list-style-type: none">1. Описание того, что и где может идти неправильно, имея в виду угрозы и опасные события.2. Оценка рисков в таком виде, чтобы их можно было интерпретировать и сопоставлять, а также легко отличать более значимые риски от менее значимых

Этап разработки ПОВБ	Проблемы	Результаты
4. Оценка рисков	<ul style="list-style-type: none"> Определение обязанностей персонала в отношении того, кто будет выполнять работу на местах по выявлению опасностей и определению мер контроля. Поиск соответствующих мер контроля, которые будут экономически эффективными и рациональными. Неопределенность при расстановке приоритетов рисков из-за недостатка данных, плохого знания операций в цепи водоснабжения и их относительного вклада в риски, создаваемые угрозами и опасными событиями; неопределенность количественной оценки степени риска 	<ol style="list-style-type: none"> Определение мер контроля. Утверждение мер контроля. Выявление недостаточно контролируемых рисков и определение их приоритетов
5. Разработка, внедрение и осуществление плана улучшения (обновления)	<ul style="list-style-type: none"> Обеспечение актуальности ПОВБ. Обеспечение финансовыми ресурсами. Недостаток кадров, в том числе для технической экспертизы, планирования и осуществления необходимых обновлений. Обеспечение того, чтобы план обновления не привел к возникновению новых рисков 	<ol style="list-style-type: none"> Разработка приоритетных планов улучшения (обновления) для каждого значительного неконтролируемого риска. Осуществление плана улучшения в соответствии с графиком кратко-, средне- и долгосрочных программ. Мониторинг выполнения плана улучшения (обновления)
6. Мониторинг за мерами контроля	<ul style="list-style-type: none"> Нехватка лабораторного оборудования для проведения анализов. Отсутствие кадров для проведения мониторинга и анализа. Финансовые затраты в связи с усилением мониторинга. Неадекватность или отсутствие оценки данных. Изменение отношения сотрудников, привыкших к определенным методам мониторинга. Обеспечение того, чтобы корректирующие действия, намеченные в результате контроля, были согласованы с отделом управления безопасностью воды и отделом эксплуатации. Обеспечение того, чтобы в отделе эксплуатации имелись сотрудники для выполнения корректирующих действий 	<ol style="list-style-type: none"> Оценка осуществления мер контроля через определенные промежутки времени. Разработка корректирующих действий для отклонений, которые могут произойти
7. Проверка эффективности	<ul style="list-style-type: none"> Отсутствие опытных внешних аудиторов для ПОВБ. Отсутствие качественных лабораторий для проведения анализов. Отсутствие кадров и финансовых ресурсов. Неосведомленность о степени удовлетворенности и жалобах потребителей 	<ol style="list-style-type: none"> Подтверждение того, что ПОВБ является правильным и обоснованным. Подтверждение тому, что ПОВБ реализуется на практике, как и предполагалось, и эффективен. Подтверждение того, что качество воды соответствует заданным целям

Этап разработки ПОВВ	Проблемы	Результаты
8. Отработка процедур управления	<ul style="list-style-type: none"> Поддержание актуальности процедур. Обеспечение осведомленности персонала об изменениях. Получение информации о несостоявшихся угрозах 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ответные действия. 2. Оперативный мониторинг. 3. Обязанности предприятия и других заинтересованных сторон. 4. Планы водоснабжения в чрезвычайных ситуациях. 5. Протоколы и стратегии обмена информацией, включая процедуры оповещения и контактные данные персонала. 6. Обязанности по координации действий в чрезвычайной ситуации. 7. План предупреждения и информирования потребителей воды и других заинтересованных сторон (например, аварийных служб). 8. Программа анализа и пересмотра документации по мере необходимости. 9. Планы создания и распределения аварийных запасов воды
9. Разработка программ поддержки	<ul style="list-style-type: none"> Кадры. Оборудование. Финансовые ресурсы. Поддержка управления. Процедуры и процессы, не входящие в рамки ПОВВ 	Программы и мероприятия, обеспечивающие интеграцию ПОВВ в деятельность предприятия водоснабжения
10. Периодический анализ и корректировка	<ul style="list-style-type: none"> Повторный сбор рабочей группы для подготовки ПОВВ. Обеспечение непрерывной поддержки ПОВВ. Обеспечение преемственности (при уходе первоначального персонала с предприятия его обязанности должны выполняться другими сотрудниками). Регистрация изменений. Сохранение контактов с заинтересованными сторонами 	Актуальный ПОВВ, который продолжает соответствовать потребностям предприятия водоснабжения и заинтересованных сторон
11. Пересмотр после инцидента	<ul style="list-style-type: none"> Открытая и честная оценка причин, цепи событий и факторов, приведших к чрезвычайной ситуации, аварии или несостоявшейся угрозе. Сосредоточение внимания на положительных уроках, извлеченных из ситуации, а не на поисках виновных 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Всеобъемлющий и открытый анализ причин происшествия и адекватности реакции на него предприятия. 2. Учет извлеченных уроков в документации и процедурах ПОВВ

Источник: WHO, 2009.

- **Фильтр цилиндрической формы из пористого материала.** Эти фильтры выпускаются серийно. Загрязненная вода медленно фильтруется, проходя через пористый керамический материал. Микроорганизмы большего размера — яйца, цисты и большинство бактерий — остаются во внешнем слое материала фильтра, который периодически очищают мягкой щеткой под струей чистой проточной воды. Микроорганизмы меньшего размера, такие как вирус гепатита А, с помощью этих фильтров не удаляются.
- **Каменные или керамические фильтры.** Эти фильтры сходны с фильтрами из пористого материала, за исключением того, что они сделаны из местного пористого камня. Их трудно чистить и тяжело поднимать, но они относительно недороги, если производятся в местных условиях. Тем не менее важно проверить воду, взяв репрезентативный образец, чтобы определить эффективность удаления фекального загрязнения.
- **Гравитационные песочные фильтры.** Несмотря на то что гравитационные песочные фильтры хорошо удаляют микроорганизмы из загрязненной воды, для того, чтобы они функционировали эффективно, требуется непрерывный поток воды. Маловероятно, что они будут использоваться и окажутся надежными в домашних условиях. Дело в том, что их конструкция и принцип работы таковы, что фильтры имеют большие размеры и обрабатывают больше воды, чем необходимо в индивидуальном хозяйстве, а для их технического обслуживания и эксплуатации требуются специальные знания, которыми не обладают индивидуальные потребители.

После удаления частиц можно использовать один из способов обработки воды. Наиболее распространены следующие методы.

- **Кипячение.** Несмотря на то что некоторые специалисты советуют кипятить воду в течение 1–5 минут, ВОЗ рекомендует доводить воду до кипения как показатель достижения высокой температуры. Температура кипения, вероятно, намного превышает ту температуру, при которой гибнет большинство патогенных микроорганизмов, передаваемых через воду, однако кипение позволяет убедиться в том, что температура, необходимая для разрушения патогенных микроорганизмов, достигнута. Для каждой тысячи метров выше уровня моря должна быть добавлена одна лишняя минута кипячения. К недостаткам кипячения, во-первых, относится большой расход топлива, которое может быть дорогим. Кипячение может придавать неприятный вкус воде. Очень горячая вода может стать причиной несчастного случая. После остывания кипяченая вода может вновь загрязниться. Необходимо также учитывать последствия вырубki лесов в засушливых районах и влияние вдыхания дыма на здоровье.
- **Солнечная дезинфекция.** Комбинированное воздействие тепла и ультрафиолетового облучения показало свою эффективность при обработке воды, но оно требует больше времени, чем дезинфекция хлором. Солнечное тепло само по себе способно обеззараживать воду, и существуют так называемые солнечные печи. С другой стороны, ультрафиолетовые лампы, не оказывающие теплового воздействия, тоже эффективны для дезинфекции.

- **Хлорирование.** Хлор убивает большинство бактерий и некоторые вирусы. Так как вкус хлора исчезает, когда вода хранится в открытых контейнерах, можно добавить маленький комочек хлорной извести или одну каплю отбеливателя на 20-литровый контейнер с водой. Смесь должна постоять минимум 30 минут. После этого, даже если у воды останется слабый запах хлора, она будет вкусной и не угрожающей здоровью. Хлор нужно добавлять только в чистую воду, иначе он будет абсорбирован грязью. При хранении хлорсодержащие средства постепенно утрачивают свою эффективность. Использование дезинфицирующих средств в домашней обработке воды с успехом применяется в Азии и Южной Америке.
- **Комбинированные системы химической коагуляции/фильтрации и обеззараживания хлором.** Применение даже наиболее многообещающих систем домашней обработки воды остается проблемой. Это происходит в связи с тем, что уничтожению микробов препятствуют частицы, создающие мутность, которые затрудняют доступ к микроорганизмам или защищают их от инактивации другим путем. Наличие в воде взвеси уменьшает эффективность хлора и других химических дезинфицирующих средств, а также физически защищает микроорганизмы от дезинфицирующего действия ультрафиолетового излучения, создаваемого солнечным светом или ртутными лампами.

На последнем этапе обработки воды в месте использования должна быть гарантирована безопасность конечного продукта. Если вода не употребляется тотчас же, она должна храниться в безопасном месте.

5. Основы эпидемиологии

Основные авторы: Angela Queste и Thomas Kistemann

5.1. Основные определения

Эпидемиология — это изучение распределения и определяющих факторов состояний и событий, связанных со здоровьем, в определенных популяциях и применение полученных результатов для решения проблем здравоохранения (Last, 2001). Эпидемиология болезней, связанных с водой, включает в себя изучение их встречаемости и распределения, борьбу с самими заболеваниями и устранение их источников, пресечение путей передачи и распространения и, в итоге, искоренение этих болезней. Знание эпидемиологической обстановки по болезням, связанным с водой, необходимо органам здравоохранения для максимально эффективного использования ограниченных ресурсов при профилактике и лечении заболеваний.

Ниже приведены основные эпидемиологические термины, которые используются и в эпидемиологии болезней, связанных с водой.

5.1.1. Эпидемиологический надзор

Эпидемиологический надзор — это систематический сбор, анализ и интерпретация данных с целью описания событий, связанных со здоровьем, и наблюдения за ними.

5.1.2. Смертность

Общая смертность (от всех причин) и смертность от конкретных заболеваний (причин) рассчитываются по формуле (Bonita, Beaglehole & Kjellström, 2006):

$$\text{Общая смертность} = \frac{\text{Число смертей за определенный период}}{\text{Число людей, которые могут умереть за тот же период}} \times 10^n.$$

Основной недостаток показателя «общая смертность» состоит в том, что он не учитывает возраст, пол, социально-экономический статус и другие факторы. В силу этого обычно необходимы дальнейшие уточнения, например расчет смертности по возрастным группам, младенческой или детской смертности.

В эпидемиологии болезней, связанных с водой, расчет смертности может понадобиться, например, для изучения связи между доступностью безопасной питьевой воды и детской смертностью. В дальнейшем можно в масштабах страны сопоставить смертность детей в возрасте до 5 лет и долю населения, имеющего доступ к безопасной питьевой воде.

5.1.3. Заболеваемость (morbidity)

Заболеваемость охватывает любое отклонение состояния здоровья от нормального (Last, 2001). Она отражает долю больных среди населения в данный период времени. Под заболеваемостью также могут понимать число случаев того или иного заболевания или расстройства; тогда ее выражают в количестве случаев на 100 000 или 1 млн населения в год. Этот показатель включает в себя все случаи заболевания как со смертельным,

так и с несмертельным исходом. В качестве примера можно привести заболеваемость гепатитом А, при определении которой учитываются все заболевшие и все умершие. Для заболеваний с низкой летальностью, например диареи, проходящей самостоятельно, данные о заболеваемости более информативны, чем данные о смертности. Во многих странах сбор ряда данных о заболеваемости осуществляется в соответствии с требованиями закона (например, в отношении болезней, связанных с водой, которые подлежат регистрации).

5.1.4. Распространенность (prevalence) и заболеваемость (incidence)

Распространенность и заболеваемость отражают встречаемость заболевания среди всего населения или его определенной группы.

Распространенность — это доля (процент) больных среди населения в определенный момент времени (Last, 2001). Другое определение термина: число лиц, пораженных болезнью, в данный момент времени, деленное на число лиц в популяции в этот момент времени (Gordis, 2000). Термин «точечная распространенность» (point prevalence) отражает состояние популяции на момент обследования, а термин «интервальная распространенность» (period prevalence) представляет собой комбинацию «точечной распространенности» и заболеваемости. Данные о распространенности характеризуют размах проблемы и могут быть использованы для определения перечня услуг, необходимых населению. В качестве примера для этого показателя можно привести распространенность рака мочевого пузыря на 1 января 2003 г. в стране, где применяется хлорирование питьевой воды.

$$\text{Распространенность на } 1000 \text{ человек} = \frac{\text{Число больных среди населения в определенный момент времени}}{\text{Число людей, подвергавшихся риску в этот момент времени}} \times 1000.$$

Заболеваемость — это число впервые выявленных случаев болезни в той или иной группе населения за определенный период времени, например за год (Last, 2001; Gordis, 2000). При расчете заболеваемости в числителе указывают только число новых случаев, более ранние случаи не учитываются. В знаменателе указывается численность населения, подверженного риску заболевания.

$$\text{Заболеваемость на } 1000 \text{ человек} = \frac{\text{Число новых случаев заболевания за определенный период времени}}{\text{Число людей, подверженных риску заболевания в этот период времени}} \times 1000.$$

Математически заболеваемость обычно выражают как X случаев на определенную численность населения (например, на 10 000 или 100 000 человек).

Выбор одного из двух показателей — распространенности или заболеваемости — зависит от характера болезни и цели исследования.

5.1.5. Эндемия, эпидемия и пандемия

Термины «эндемия», «эпидемия» и «пандемия» описывают характер распространения инфекционных болезней, в том числе болезней, связанных с водой.

Эндемия — это постоянное наличие в данной местности той или иной болезни; примером может служить гепатит А в некоторых странах Восточной Европы.

Эпидемия характеризуется необычно высокой заболеваемостью в данной местности, то есть число случаев болезни значительно превышает уровень, который ожидается в данный период времени. В качестве примера можно привести брюшной тиф, разразившийся на юге Кыргызстана в конце 2003 г. из-за употребления населением питьевой воды, загрязненной сточными водами.

Пандемия характеризуется необычно высокой заболеваемостью на обширной территории. Пандемии холеры — самые известные пандемии болезней, связанных с водой. Седьмая пандемия, вызванная *Vibrio cholerae* биотипа Эль-Тор, вспыхнула в Индонезии в 1961 г., а затем распространилась на Индию, материковую часть Азии, Западную Африку и Латинскую Америку. Последняя, восьмая, пандемия началась в 1992 г. в Индии и Бангладеш и была вызвана *V. cholerae* серогруппы O139, или Бенгальским.

Иногда возникает путаница относительно употребления понятий «эпидемия», «вспышка» и «кластер» (групповое заболевание). Хотя они близки по смыслу, термин «эпидемия» обычно используется для описания проблем, охватывающих значительную территорию, в то время как «вспышка» и «кластер» — для проблем, которые затрагивают меньшее число людей или имеют более четкие территориальные границы.

5.1.6. Эпидемическая вспышка

Эпидемической вспышкой называют кратковременное местное увеличение заболеваемости (Last, 2001). ВОЗ считает вспышкой два или более случая болезни, связанных общим источником инфекции (Andersson & Bohan, 2001). Причиной эпидемической вспышки болезни, связанной с водой, может быть загрязнение центрального источника питьевой воды. Общеизвестно, что выявление мелких вспышек болезней, передаваемых через воду или другим путем, является непростой задачей (Quigley, Gibson & Hunter, 2003). Однако может оказаться еще более сложным выявить вспышки заболеваний, охватывающие большее количество людей в густонаселенных местах, например в крупных городах (Kožíšek, 2010).

5.1.7. Группы риска

В эпидемиологии болезней, связанных с водой, необходимо определить среди населения группы риска. Это может быть часть населения, которая наиболее восприимчива к болезни, например дети или беременные женщины, либо часть населения, пользующаяся городским водопроводом и потому рискующая заболеть при несоответствии качества воды предъявляемым требованиям (Beaglehole, Bonita & Kjellström, 1993).

5.2. Основные виды исследований

Для эпидемиологического обследования при вспышках болезней, связанных с водой, используются описательные и аналитические исследования. Важнейшими описательными исследованиями являются экологические исследования и опросы. Из аналитических исследований для болезней, связанных с водой, наиболее важны исследования «случай—контроль» и когортные исследования.

5.2.1. *Описательные исследования*

Как правило, **описательные исследования** представляют собой наблюдения отдельных случаев или групп больных. Они являются основной отправной точкой при эпидемиологическом обследовании любой вспышки болезни, возможно, связанной с водой, и помогают сформулировать гипотезу для дальнейших исследований.

В качестве источников данных используются главным образом данные обычного эпидемиологического надзора — например, статистика смертности, уведомления о случаях инфекционных заболеваний, отчеты лабораторий, результаты массовых обследований. Из результатов массовых обследований можно почерпнуть информацию о временном, географическом и демографическом распределении заболевания (время, место, больной). Таким образом, в рамках описательных исследований проводится сбор данных о дате начала заболевания, месте жительства заболевшего, его поездках, возрасте, поле и потреблении пищи и воды (Hunter, 1997).

В описательных исследованиях анализ обычно сводится к обобщению данных и их представлению в табличной и графической форме.

Одним из важнейших вариантов описательных исследований является так называемое **экологическое исследование**. В его основе лежит сопоставление распространенности болезни или заболеваемости ею среди различных групп населения (например, среди жителей разных населенных пунктов) с возможными факторами риска, такими как доля населения, потребляющего колодезную воду, или процент безработных, что позволяет сделать заключение о причинах болезни (Hunter, 1997). Достоинствами экологических исследований являются простота и низкая стоимость, а также возможность использовать данные о населении с различными характеристиками. Но у них есть и недостатки. Самый важный недостаток — невозможность однозначно определить связь между воздействием и последствиями. Эту проблему называют «экологической ошибкой». Невозможно также контролировать многочисленные влияния искажающих факторов. Поэтому по результатам экологических исследований обоснованных выводов сделать нельзя (Beaglehole, Bonita & Kjellström, 1993; Hunter, 1997).

План экологического исследования, например, может предусматривать изучение связи между потреблением воды, содержащей побочные продукты хлорирования, и заболеваемостью раком в группах населения, пользующихся водой из различных источников. В качестве примера экологического исследования можно привести работу Munger с соавт. (Munger et al., 1997). В ней сравнивалась частота случаев внутриутробной задержки развития в 13 населенных пунктах штата Айова (США), которые получают воду из загрязненного гербицидами озера Ратбун, с аналогичным показателем для других населенных пунктов Айовы такого же размера. Среди матерей, употреблявших воду из озера Ратбун, частота случаев внутриутробной задержки развития оказалась выше. Однако ограничения, присущие экологическому исследованию, привели к тому, что выявленная зависимость может рассматриваться только как предварительный результат.

Опросы — еще один вариант описательных исследований. Они позволяют охарактеризовать представителей населения, в том числе в отношении личных данных, наличия в анамнезе конкретного заболевания и воздействия возможных этиологических агентов (например, употребление воды из колодца) (Hunter, 1997). В этом случае воздействие

(экспозиция) и его последствия оцениваются одновременно. Для сбора данных отобранная группа населения опрашивается путем личного интервью, телефонного интервью или рассылки анкет по почте. Важнейшее преимущество этого вида исследований состоит в том, что он относительно несложен и не требует больших затрат (Beaglehole, Bonita & Kjellström, 1993). При проведении опросов необходимо принимать во внимание возможность систематических ошибок, в частности ошибок выборки. Например, лица, недавно перенесшие диарею, с большей вероятностью примут участие в исследовании диарейных заболеваний. И наоборот, если значительная доля больных диареей будет госпитализирована, то люди окажутся недоступны для интервьюирования (Hunter, 1997). В случае вспышки первым шагом по выявлению причин заболевания (таких, как загрязнение питьевой воды) часто бывают популяционные опросы, позволяющие оценить сразу много факторов риска.

5.2.2. Аналитические исследования

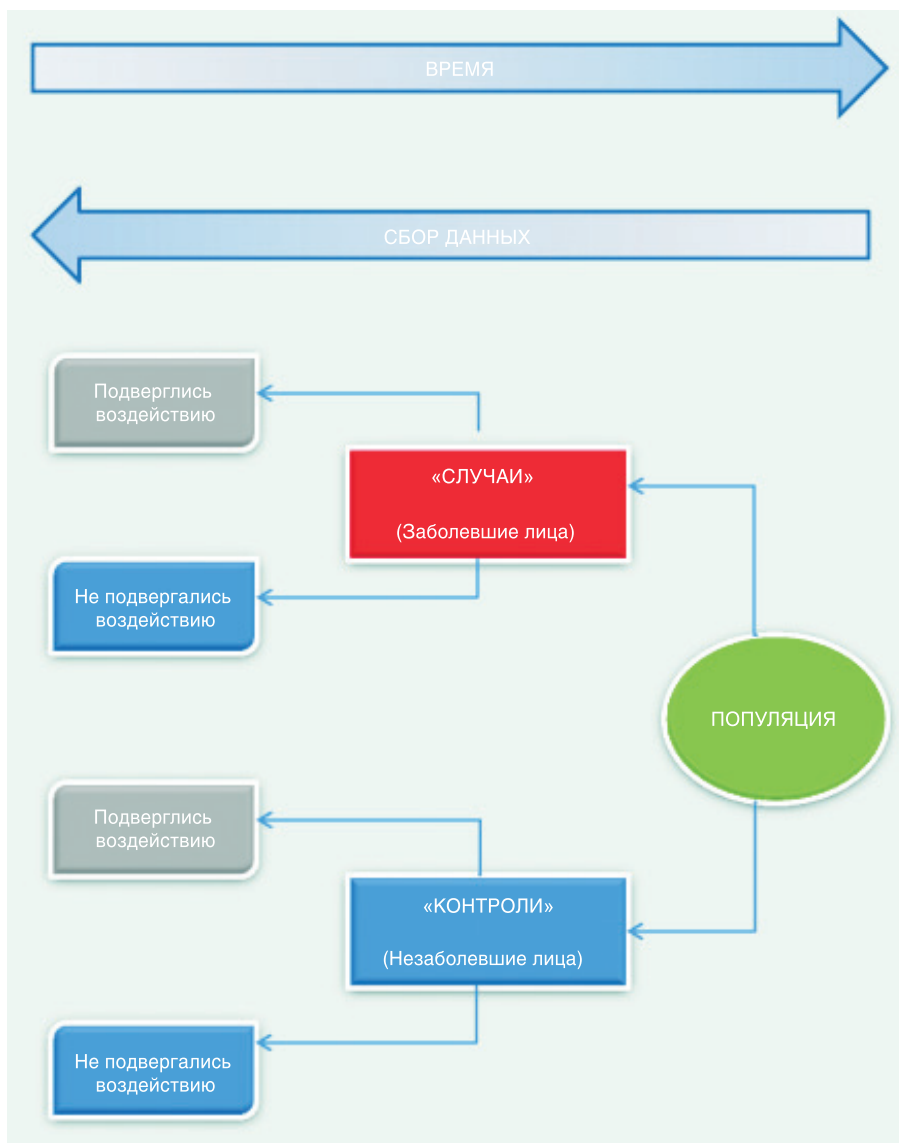
Хотя описательные исследования вследствие своих преимуществ используются часто, именно аналитические исследования приводят к выводам и доказательствам, которые не могут быть получены в описательных исследованиях.

Исследования «случай—контроль» — самый распространенный вид аналитических исследований при подозрении на связанные с водой эпидемические вспышки. Гипотезу здесь проверяют путем сравнения частоты предшествующего события среди заболевших («случаи») и среди тех, кого болезнь не затронула («контроли») (Hunter, 1997). Преимущество исследований «случай—контроль» состоит в том, что их можно осуществить просто, быстро и с небольшими затратами; кроме того, можно оценить влияние нескольких факторов. Хотя исследования «случай—контроль» ограничиваются изучением только одного заболевания, их преимущество состоит в том, что они дают возможность изучить сразу несколько факторов риска и оценить относительное влияние каждого из них (например, пищи, воды и т. д.).

На рис. 5.1 представлена схема исследования «случай—контроль». Исследования «случай—контроль» являются ретроспективными, то есть анализ направлен в прошлое.

Обычно исследования «случай—контроль» выполняют следующим образом. Сначала отбирается исследуемая группа («случаи»), которая будет представлять все случаи заболевания в выбранной популяции. Затем отбирается контрольная группа («контроли»), представляющая распространенность фактора риска в популяции, где отмечались случаи заболевания. Контрольная группа должна включать в себя лиц, которые были бы включены в состав исследуемой группы, если бы у них развилось данное заболевание. Контрольную группу следует отбирать своевременно во избежание ошибок припоминания. Состав исследуемой и контрольной групп может быть ограничен представителями определенных групп населения (женщины, дети). Ключ к успеху исследования «случай—контроль» — в правильном определении «случая» и выборе «контроля». Исследуемая группа отбирается по клиническим, эпидемиологическим и микробиологическим или другим лабораторным признакам. Контрольная группа не должна иметь признаков заболевания, то есть у них не должно быть таких симптомов, как понос и рвота. Для отбора исследуемой группы можно использовать разные методы, в том числе телефонное собеседование и официальную документацию (Beaglehole, Bonita & Kjellström, 1993).

Рисунок 5.1. Схема исследования «случай—контроль»



Источник: Сотрудничающий центр ВОЗ по управлению водными ресурсами в целях укрепления здоровья и информированию о риске, Бонн, Германия.

После формирования исследуемой и контрольной групп проводится их сравнение. На каждый «случай» может приходиться до четырех «контролей». Для анализа данных важно обеспечить достаточное сходство исследуемой и контрольной групп, например по возрасту или социальному положению (Beaglehole, Bonita & Kjellström, 1993). В обеих группах оценивают долю участников, которые, например, употребляли питьевую воду из одного и того же источника, сравнивают эти доли между собой и на основании этого делают вывод, является ли питьевая вода фактором риска. Факторы риска выбирают или гипотетически, или на основании знаний об особенностях заболевания. Например, при возникновении в населенном пункте гастроэнтерита неизвестного происхождения следует оценить такие факторы, как питание, употребление некипяченой питьевой воды или питьевой воды, загрязненной химикатами.

Результатом исследования «случай—контроль» является отношение шансов. Пример расчета отношения шансов представлен в табл. 5.1. Отношение шансов — это отноше-

ние вероятности того, что заболевший подвергся воздействию того или иного фактора внешней среды, к вероятности того, что незаболевший человек испытал воздействие того же фактора (Hunter, 1997). В приводимом примере проверяется, подверглись ли люди, заболевшие холерой, воздействию определенного фактора риска, а именно, употребляли ли они морепродукты. Согласно табл. 11, отношение шансов равно 11,6. Это значит, что вероятность того, что лица из исследуемой группы в недавнем прошлом употребляли в пищу морепродукты, в 11,6 раза превышает вероятность употребления морепродуктов лицами из контрольной группы (Beaglehole, Bonita & Kjellström, 1993). В исследованиях «случай—контроль» нельзя рассчитать относительный риск, который оценивается в когортных исследованиях (см. ниже), потому что исследуемая и контрольная группы не являются случайными выборками из всего населения.

Таблица 5.1. Пример расчета отношения шансов

		Фактор риска (употребление морепродуктов)		Всего
		Есть	Нет	
Заболевание (холера)	Есть	50 (a)	11 (b)	61
	Нет	16 (c)	41 (d)	57
	Всего	66	52	118

Примечание: Отношение шансов = $(a \times d)/(b \times c) = (50 \times 41)/(11 \times 16) = 11,6$.

Источник: Beaglehole, Bonita & Kjellström, 2006.

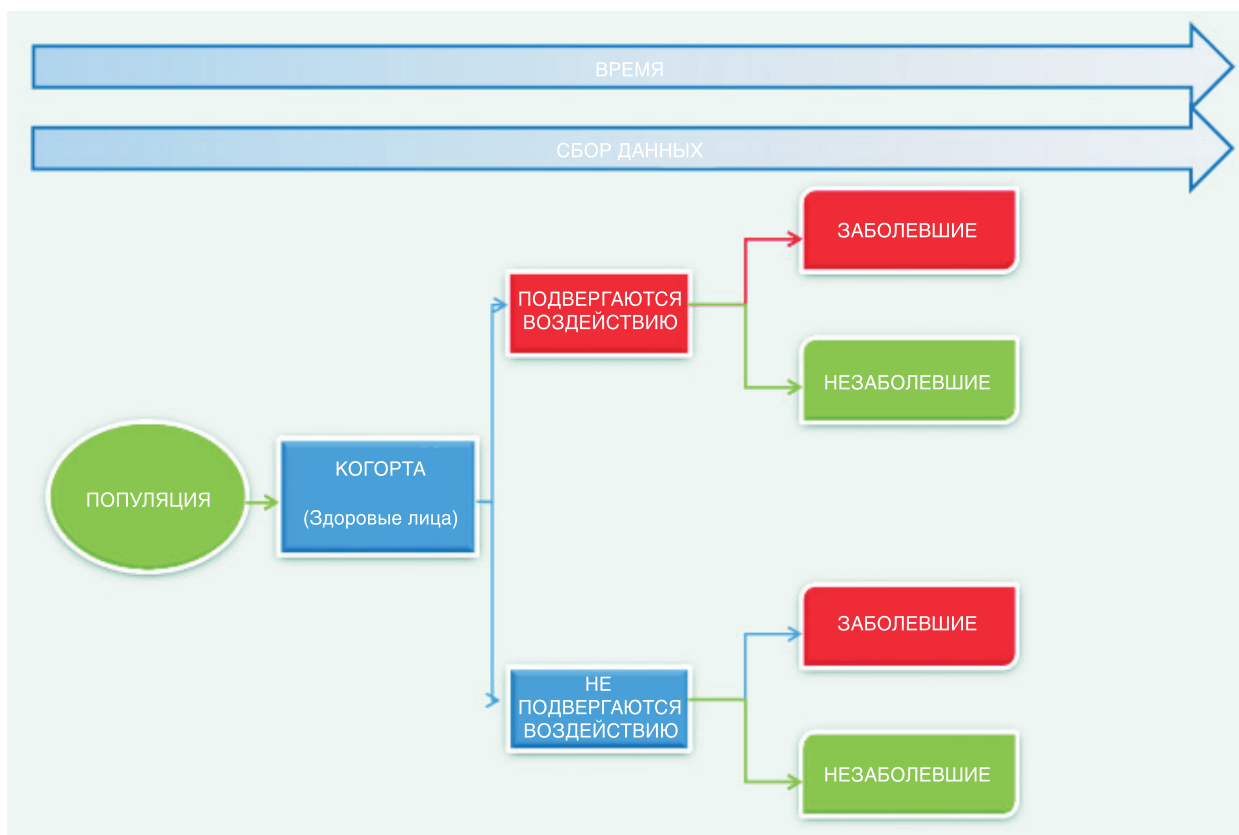
В отличие от исследований «случай—контроль» в **когортных исследованиях** изучаются группы лиц, для которых данные о воздействии известны. Анализ обычно направлен в будущее; оценивается риск развития заболевания после воздействия. Схема когортного исследования приведена на рис. 5.2.

При проведении когортного исследования вначале отбирается когорта — группа людей без заболевания. Когорта делится на группы в зависимости от подверженности воздействию возможного этиологического фактора. Затем выбирают и измеряют интересующие исследователей показатели и всю когорту оставляют под наблюдением, с тем чтобы определить разницу в количестве новых случаев заболевания в группах, подверженных и не подверженных воздействию фактора риска (Beaglehole, Bonita & Kjellström, 1993). В качестве примера оцениваемых факторов риска можно привести наличие в воде химикатов, таких как нитраты, мышьяк, тригалометаны, или использование различных источников воды (грунтовые воды или береговая фильтрация).

В когортных исследованиях с самого начала участвуют лица, подвергающиеся и не подвергающиеся воздействию фактора риска. Поэтому для оценки простоты использования данного вида исследований важно знать, какие трудности могут возникнуть при оценке воздействия факторов риска или поиске имеющихся данных об индивидуальном воздействии этих факторов.

Преимуществом когортных исследований является то, что они дают наилучшую информацию о причинах болезни и обеспечивают наилучшие возможности для оценки ее риска. При сравнении заболеваемости среди тех, кто подвергается и не подвергается воздействию возможного этиологического агента, получается показатель, называемый

Рисунок 5.2. Схема когортного исследования



Источник: Сотрудничающий центр ВОЗ по управлению водными ресурсами в целях укрепления здоровья и информированию о риске, Бонн, Германия.

относительным риском (Hunter, 1997). Схема когортных исследований проста. Основной недостаток заключается в том, когортные исследования должны включать много участников и требуют продолжительного периода наблюдения, поскольку заболевание нередко проявляется спустя длительное время после воздействия.

Особым видом когортных исследований являются **ретроспективные когортные исследования**, к которым часто прибегают при вспышках болезней, связанных с водоснабжением небольших населенных пунктов. Ретроспективные когортные исследования проводятся, когда все население подвергается воздействию одного и того же фактора риска (например, пользуется водой из одного и того же источника) (Hunter, 1997). Пример такого исследования описан далее в настоящем документе. В качестве когорты были отобраны все ученики начальной школы небольшого региона Германии, где в мае и августе 2000 г. произошли вспышки лямблиоза. Для выявления возможных путей передачи инфекции были составлены анкеты, содержавшие вопросы о привычках, связанных с употреблением пищи и воды, контактах с животными и купании в открытых водоемах. Относительный риск свидетельствовал о том, что у части когорты заболевание развилось из-за употребления водопроводной воды из особой зоны водоснабжения.

5.3. Источники ошибок в эпидемиологических исследованиях

На результаты эпидемиологических исследований иногда влияют случайные и систематические ошибки, а также искажающие факторы.

5.3.1. Случайная ошибка

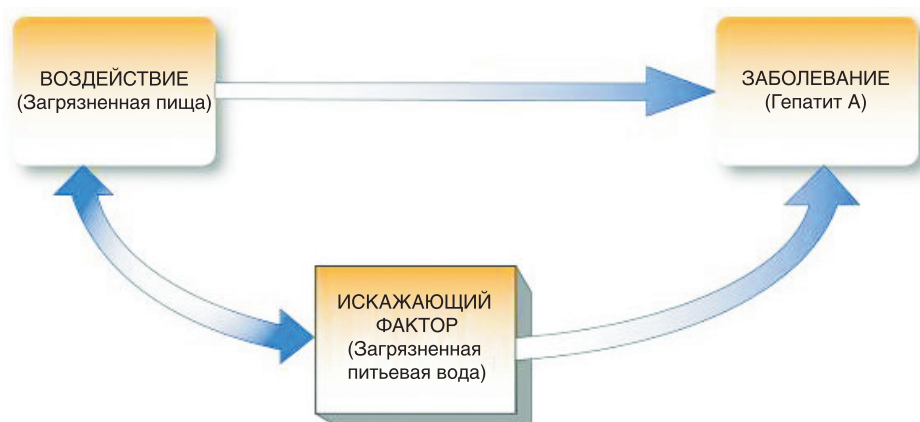
Случайные ошибки возникают в силу индивидуальных биологических различий, ошибок выборки и ошибок измерения. Влияние подобных ошибок может быть уменьшено путем тщательной оценки воздействия и исхода, с тем чтобы каждая оценка была как можно более точной. Но подобные ошибки не могут быть полностью устранены. Это происходит потому, что изучать можно только выборку (например, детей), а не все население, всегда имеют место индивидуальные различия (например, у одного и того же человека артериальное давление утром и вечером неодинаково) и ни одно измерение не является абсолютно точным (например, анализ кала) (Beaglehole, Bonita & and Kjellström, 1993).

5.3.2. Систематическая ошибка

Могут встречаться также систематические ошибки, которые необходимо учитывать при эпидемиологическом обследовании вспышек. Ошибка считается систематической, если результаты измерений систематически отличаются от фактических величин. Основными видами систематических ошибок являются ошибка выборки, ошибка измерения и ошибка припоминания. Систематическая разница между характеристиками людей, отобранных для участия в исследовании, и характеристиками тех, кто не был отобран, называется ошибкой выборки, которая может наблюдаться в случае самоотбора участников. Ошибка измерения (или классификации) означает, например, что разные лаборатории при измерении концентрации микроорганизмов получают разные результаты. И наконец, примером ошибки припоминания служат различия в памяти больных и здоровых людей, участвующих в исследовании «случай–контроль», о том, какую пищу они ели.

Источником ошибок могут быть также искажающие (вмешивающиеся) факторы. Искажающие факторы приводят к неправильной оценке последствий. Они возникают из-за того, что неслучайное распределение факторов риска в исходной популяции наблюдается также и в исследуемой популяции. При анализе связи между воздействием этиологического агента (или фактора риска) и встречаемостью заболевания искажающий фактор может возникнуть тогда, когда в исследуемой популяции существует другое воздействие, которое связано как с заболеванием, так и с исследуемым воздействием. Соотношение между воздействием, заболеванием и искажающим фактором иллюстрирует рис. 5.3. Например, при исследовании вспышки гепатита А искажение может

Рисунок 5.3. Искажающий фактор: загрязненная пища и вода и развитие гепатита А



Источник: Beaglehole, Bonita & Kjellström, 1993; с изменениями.

возникнуть при употреблении загрязненной питьевой воды, тогда как в качестве фактора воздействия учитывается только употребление загрязненной пищи.

5.4. Методические проблемы проведения эпидемиологических исследований

Большинство желудочно-кишечных инфекций, в том числе болезни, связанные с питьевой водой, могут распространяться несколькими путями. Эпидемиологическое исследование является единственным методом, позволяющим использовать фактические данные для того, чтобы отделить риск, вызванный употреблением загрязненной воды, от других факторов риска данного заболевания. Без этого оценка конкретного фактора риска может оказаться завышенной. Эпидемиологические исследования часто критикуют за то, что используемый в них подход к сбору данных по своей природе не является экспериментальным. Несмотря на то что существует большое количество переносных, связанных с риском употребления загрязненной воды, использование стандартных процедур позволяет провести исследование и получить достоверные результаты. Эпидемиологические исследования должны хорошо планироваться и проводиться не только с целью достаточно точной оценки риска для здоровья, но и для учета других факторов риска исследуемого заболевания и (или) искажающих факторов.

5.4.1. Дизайн исследования

Существует ряд методических проблем, на которые необходимо обращать внимание при планировании и проведении эпидемиологических исследований, для того чтобы свести к минимуму систематические ошибки. Вид исследования определяется:

- целями исследования;
- характером воздействия и особенностями исследуемого заболевания;
- наличием квалифицированного персонала, имеющего опыт проведения эпидемиологических и биостатистических исследований;
- бюджетными ограничениями.

Эти четыре элемента должны быть учтены в начале любого исследования. При выборе подходящего протокола эпидемиологического исследования в первую очередь необходимо принимать во внимание цели исследования и возможность получения достоверных результатов, что, в свою очередь, определяет, как и в какой степени смогут использоваться полученные данные.

Ограничения и методические проблемы эпидемиологических исследований связаны с тем, что для обнаружения небольшого повышения степени риска нужно использовать нереально большую выборку, и с тем, что для проведения хорошего исследования нужны немалые финансовые средства и квалифицированный персонал. По сравнению со многими другими видами научных исследований для проведения эпидемиологических исследований требуется длительное время. Часто вследствие бюджетных ограничений эпидемиологические исследования не могут охватить все важные аспекты проблемы или все группы населения. Следует также помнить, что плохо спланированные исследования ведут к неудовлетворительным результатам.

Для проведения высококачественных эпидемиологических исследований вспышек болезней, передающихся через воду, необходимо иметь в своем распоряжении следующие ресурсы (Hunter, 2003):

- насущную информацию, включая гидрографические карты со схемами водораспределения и водоснабжения (предоставленные предприятиями водоснабжения) и данные о населении, проживающем на исследуемой территории;
- персонал, обладающий необходимыми знаниями и навыками, включая знания эпидемиологии и биостатистики, навыки проведения опросов и обработки данных, навыки организации и управления;
- подходящие помещения, включая «комнату для совещаний», где будет координироваться работа исследователей и осуществляться сбор всех данных.

5.4.1.1. Какой дизайн исследования наиболее подходящий

Считается, что экспериментальные, или интервенционные, исследования дают наиболее точные результаты при условии учета систематических ошибок и искажающих факторов, однако они могут оказаться неприемлемыми по этическим или финансовым соображениям. Следующие по качеству результатов – проспективные когортные исследования, но опять же высокая стоимость и сложность организации могут воспрепятствовать их проведению. В этом случае прибегают к популяционным (поперечным) исследованиям, которые способны дать полезную информацию при условии точных измерений воздействия и заболевания и учета возможных искажающих факторов (Blum & Feacham, 1985).

Борьба с систематическими ошибками является одной из важнейших задач при проведении эпидемиологических исследований. Систематические ошибки приводят к неверной оценке связи между воздействием и заболеванием. Основные виды систематических ошибок – ошибка выборки, информационная ошибка и ошибка припоминания. Кроме того, существуют искажающие факторы.

- **Ошибка выборки** появляется тогда, когда включение в исследование на основании воздействия или заболевания так или иначе связано с изучаемым заболеванием или воздействием.
- **Информационная ошибка** появляется тогда, когда имеются систематические различия в способе получения информации о воздействии или об исходе между разными исследуемыми группами.
- **Ошибка припоминания** происходит, когда сообщения о заболевании зависят от самого воздействия.
- **Ошибка интервьюирования** возникает, когда проводящим опрос сотрудникам известно о воздействии на опрашиваемых и они могут невольно повлиять на ответы относительно заболевания.
- **Искажающие факторы** влияют на результаты исследования в том случае, если связь между воздействием и заболеванием определяется (полностью или частично) воз-

действием другого фактора риска, который и будет искажающим фактором (см. ниже примеры факторов риска гастроэнтерита, не связанных с водой). Это случается, когда другой фактор является независимым фактором риска заболевания и при этом тоже связан с воздействием. Наличие искажающего фактора ведет к переоценке или недооценке связи между воздействием и заболеванием. Например, навыки личной гигиены могут служить искажающим фактором при исследовании связи между качеством питьевой воды и желудочно-кишечными заболеваниями.

5.4.1.2. Примеры факторов риска гастроэнтерита, не связанных с водой

Kay & Dufour (2000) перечислили следующие факторы риска гастроэнтерита, которые не связаны с водой и потому могут исказить результаты исследований в отношении болезней, связанных с водой:

- возраст;
- пол;
- мигрень в анамнезе;
- стресс или тревожные расстройства в анамнезе;
- частота случаев диареи (часто, иногда, редко или никогда);
- медикаментозное лечение в настоящее время;
- заболевания длительностью более суток, перенесенные в течение 4 недель до обследования;
- медикаментозное лечение в течение 4 недель до обследования;
- употребление в течение 3 дней до обследования и 7 дней после него следующих продуктов: майонез, покупные сэндвичи, курица, яйца, гамбургеры, сосиски, сырое молоко, холодное мясное блюдо или морепродукты;
- заболевания в семье в течение 3 недель после обследования;
- употребление алкоголя в течение 7 дней после обследования;
- привычная частота употребления алкоголя;
- прием слабительных средств в течение 4 дней до и после обследования;
- прием других желудочно-кишечных средств в течение 4 дней до и после обследования.

5.4.2. Оценка воздействия

Оценка воздействия является важнейшей задачей эпидемиологических исследований. Во многих исследованиях исходят из того, что в быту используется питьевая вода из

ближайшего источника или системы водоснабжения, и фактический источник воды часто не устанавливают. На самом деле для различных целей нередко используются разные источники воды, и вода для питья может поступать из одного источника, а, например, для мытья или стирки — из другого. Дети и взрослые могут употреблять воду из разных источников, и это следует учитывать при оценке воздействия. В некоторых ситуациях важно непосредственно понаблюдать за использованием водой, а не полагаться на данные опросов или анкетирования, потому что фактическое использование воды может оказаться иным.

Лучше измерить показатели качества воды, а не просто зарегистрировать вид источника водоснабжения, однако даже измеренные показатели не служат надежным предсказателем ее качества. Например, при оценке микробиологического качества воды нередко используются неадекватные показатели и (или) неточные методы лабораторных исследований. Обычно измеряют общую концентрацию колиформных бактерий и концентрацию фекальных колиформных бактерий. Хотя в умеренном климате эти показатели считаются стандартным индикатором микробиологической чистоты воды, у метода имеются недостатки. В тропическом климате эти индикаторы ненадежны из-за более высокой температуры окружающей среды и большего количества питательных веществ. В жару усиливается рост термостойких водных микроорганизмов, которые хорошо приспособлены к высоким температурам, используемым для выявления термостойких колиформных бактерий при анализе воды. Ряд исследователей сообщали о ложноположительных результатах, обусловленных присутствием в водной среде термостойких колиформных бактерий нефекального происхождения. Кроме того, рост термостойких нефекальных микроорганизмов в исследуемой среде затрудняет обнаружение и подсчет бактерий-индикаторов. Для решения этих проблем в условиях теплого климата предпочтительнее использовать в качестве индикатора качества воды *E. coli* (Hunter, Waite & Ronchi, 2003).

Оценка микробиологического качества воды в источнике затрудняется высокой изменчивостью ее свойств, особенно если в источник попадают ливневые воды. Во время дождей увеличивается количество воды, попадающей в поверхностные воды, что может привести к увеличению загрязнения воды фекалиями и снижению ее качества. И наоборот, качество воды может улучшиться во время дождливого сезона благодаря снижению концентрации фекалий в воде. В засушливый период качество воды может снизиться из-за концентрирования фекалий в небольших объемах воды. На качество грунтовых вод влияют осадки и наводнения. Качество воды из традиционных источников водоснабжения может значительно различаться и часто меняется со временем. В воде с низким средним содержанием *E. coli* могут наблюдаться пики загрязнения, которые не будут обнаружены, если пробы воды берут редко или в течение короткого периода времени. Таким образом, для точной классификации воздействия, связанного с источником воды, исследователям рекомендуется учитывать среднюю и пиковую концентрацию загрязнителей в достаточном количестве проб, взятых в течение длительного периода времени. Однако это удорожает исследование. В целом, вода из незащищенных источников должна проверяться чаще, чем из защищенных. Однако даже водопроводной воде присуща временная и географическая изменчивость качества. В водораспределительных системах могут отмечаться локальные пики загрязненности из-за незаконных подключений, а также притока загрязненных или сточных вод вследствие разрежения, возникающего при отключениях электроэнергии.

В зависимости от того, где проводится эпидемиологическое исследование, оценка воздействия может включать в себя анализ качества бытовой воды. Качество воды в домохозяйстве может значительно отличаться от качества воды в источнике. Важно выяснить, подвергается ли вода в обследуемом домохозяйстве дополнительной обработке, включая кипячение, фильтрацию и обеззараживание. Известно, что источником загрязнения бывают транспортировка и хранение воды в загрязненных емкостях, а также контакт воды с рукой при зачерпывании воды из емкости для хранения. Риск для здоровья, связанный с загрязнением воды в источнике, отличается от риска, связанного с загрязнением воды, хранящейся в домохозяйстве. Вода, загрязненная вне домохозяйства, может принести новые патогенные микроорганизмы в семью и местное сообщество, тогда как вода, загрязненная в самом домохозяйстве, скорее всего, будет содержать патогенные микроорганизмы, которые уже имеются в семье и, возможно, уже передаются другими путями. Члены семьи могут заразиться ими не только через воду или уже иметь иммунитет к этим патогенным микроорганизмам.

5.4.3. Оценка последствий для здоровья

Наиболее распространенным последствием для здоровья (исходом) в исследованиях болезней, передающихся с водой, является диарея (понос). Дать однозначное определение термину «случай диарейной болезни» бывает трудно, поскольку нужно учитывать возраст, рацион питания и культурные факторы. В литературе диарея определяется как «жидкий стул три или более раза на протяжении 24 часов», или как «жидкий стул два или более раза в сочетании как минимум с одним из следующих симптомов: боль в животе, кишечные колики, тошнота, рвота, лихорадка», или как «однократный жидкий стул с примесью крови или слизи» (Ваqui et al., 1991; Isenbager et al., 2001; Wright et al., 2006). Заболеваемость диареей и ее распространенность, как правило, оцениваются с помощью периодических опросов домохозяйств, во время которых людей просят вспомнить о собственных заболеваниях и (или) заболеваниях их детей и других членов семьи за время, прошедшее с последнего опроса. Чем больше времени проходит между опросами, тем более вероятны ошибки в результатах. Таким образом, важно проводить опросы как можно быстрее после заболевания.

Егоров и коллеги (Egorov et al., 2002) провели в Российской Федерации популяционное эпидемиологическое исследование для оценки связи между снижением концентрации остаточного хлора и риском желудочно-кишечных заболеваний. Исследование включало в себя мониторинг качества воды и широкое анкетирование жителей городов.

В первом десятилетии XXI века в городе Череповец на северо-западе России была проведена серия эпидемиологических исследований болезней, связанных с водой. Егоров и его коллеги изучали концентрации остаточного хлора и частоту желудочно-кишечных заболеваний (Egorov et al., 2002), воздействие побочных продуктов обеззараживания (Egorov et al., 2003a) и частоту криптоспоридиоза (Egorov, 2004). Кроме того, оценивалась связь между мутностью питьевой воды и заболеваемостью диареей (Egorov et al., 2003b).

Все жилые районы Череповца получают питьевую воду из одной водоочистительной станции, которая осуществляет водозабор из реки Шексна. На водоочистительной станции проводится хлорирование воды жидким хлором, коагуляция соединениями алюминия и быстрая восходящая фильтрация через песочные фильтры. Хлор также

применяется в качестве остаточного дезинфектанта. Повторное хлорирование в системе водоснабжения не практикуется, и многие жители регулярно употребляют воду без остаточного/свободного хлора, в то время как концентрации растворенных органических веществ в очищенной воде высоки. Благодаря этому создаются благоприятные условия для роста биопленок. Целью исследования было показать, что в районах с постоянно низким уровнем остаточного хлора водопроводная вода в большей степени угрожает здоровью населения.

О степени воздействия на участников исследования судили по средним показателям качества воды, взятой в заранее выбранных районах города. Пробы воды брали из отдельных квартир и анализировали по стандартным методикам. Кроме того, использовали данные по качеству воды на выходе с водоочистительной станции, пробы которой отбирались в плановом порядке.

Опрос участников исследования осуществлял специально обученный персонал. Отбор семей для участия в опросе проводился случайным образом из числа тех, что постоянно проживали в заранее выбранных районах. При составлении опросника были учтены возможные искажающие факторы, в частности социально-экономические и демографические характеристики. Последствием для здоровья (исходом), представлявшим интерес для исследователей, было желудочно-кишечное заболевание, которое определили как «диарея или другие желудочно-кишечные симптомы, например рвота или кишечные колики, продолжительностью один день после по меньшей мере двухнедельного бессимптомного периода». Собирали информацию о желудочно-кишечных заболеваниях, перенесенных в течение трех месяцев или одного месяца до опроса.

Результаты исследования показали связь между снижением концентрации остаточного свободного хлора в водораспределительной системе и повышением в Череповце риска желудочно-кишечных заболеваний. Для снижения бремени желудочно-кишечных заболеваний было рекомендовано повторное хлорирование воды в определенных участках системы водоснабжения, в частности на местных водонасосных станциях, с тем чтобы поддерживать адекватный уровень свободного хлора во всей водораспределительной системе.

5.4.4. Анализ данных

Эпидемиологические исследования могут показать наличие связи между заболеваемостью и воздействием различных факторов, включая экологические. Однако статистические выводы не являются неопровержимым доказательством наличия причинно-следственной связи. Тем не менее комбинация сильной статистической связи с биологической правдоподобностью убедительно подтверждает наличие причинно-следственной связи.

Анализ комплексных данных, полученных в результате исследований воды и состояния здоровья населения, как правило, требует применения методов многомерной регрессии для учета влияния различных искажающих факторов, связанных с местным сообществом, домашним хозяйством и детьми. Эти искажающие факторы включают в себя доход, размер семьи, тип санузла, возраст, образование. Во многих регрессионных моделях (таких, как логистическая модель, модель пропорциональных рисков, или модель Кокса) предполагается, что все наблюдения проводятся независимо друг от друга. В действительности этого не происходит, так как чаще всего все случаи диареи у одного

пациента или все случаи диареи в домохозяйстве взаимосвязаны. Следовательно, необходимы дополнительные аналитические подходы для кластеризации отдельных лиц и семей, например регрессия Пуассона или обобщенные оценочные уравнения (Liang & Zeger, 1986).

Аналитический подход должен быть направлен и на возможную взаимосвязь воздействия с такими ковариатами, как возраст и время года. Значимость ковариаты указывает, что она изменяет влияние водоснабжения на риск диарейных заболеваний. Если не проводить анализ заболеваемости с учетом возраста, то можно не обнаружить влияния водоснабжения на определенные группы населения. Частота многих исходов меняется в зависимости от возраста. Некоторые из этих изменений возникают из-за биологических различий восприимчивости людей из разных возрастных групп. В разных возрастных группах различаются характер водопотребления и риск воздействия других факторов. Например, у детей младше пяти лет диарея встречается чаще, чем у детей старшего возраста и у взрослых, и на них воздействуют иные факторы окружающей среды.

При анализе следует также учитывать влияние сезонных факторов на заболеваемость. В большинстве частей мира существуют специфические сезонные пики заболеваемости, которые необходимо учитывать при изучении связи диарейных заболеваний и качества воды. Характер потребления воды может изменяться в течение года; например, летом, в засуху. Качество воды также может значительно различаться в зависимости от времени года, типа источника воды и его уязвимости к загрязнению.

5.4.4.1. Степень связи

Поскольку в настоящем руководстве невозможно детально описать все статистические методы и виды анализа, позволяющие оценить степень связи и ее важность, ниже приведено краткое описание, а читателю предлагается список литературы для дальнейшего изучения. Оценка степени связи показывает степень зависимости между двумя или более переменными. В эпидемиологии для обозначения любой независимой переменной, которая может рассматриваться как возможный фактор, определяющий состояние здоровья, часто используется термин «воздействие» или «экспозиция». Для обозначения любого исхода (последствия для здоровья), являющегося зависимой переменной, используется термин «заболевание» или «болезнь». Расчет степени связи проводится для количественной оценки эффекта, который воздействие оказывает на частоту заболевания. Следует помнить, что наличие связи между воздействием и заболеванием не означает наличие причинно-следственной связи.

5.4.4.2. Оценка степени связи

5.4.4.2.1. Расчет отношения рисков

Отношение рисков — это отношение показателя заболеваемости в группе, подвергшейся воздействию (P_1), к показателю заболеваемости в группе, не подвергшейся воздействию (P_0):

Отношение рисков = P_1/P_0 .

Отношение рисков отражает связь между воздействием и заболеванием. Исходно соотношение рисков равно 1, что указывает на отсутствие связи между воздействием и заболеванием. Отношение рисков, превышающее 1, показывает положительную связь, а

отношение рисков менее 1 — отрицательную связь между ними. Отношение рисков также показывает степень связи. Например, отношение рисков, равное 5, означает, что в группе, подвергшейся воздействию, риск заболеть в 5 раз больше, чем в группе, не подвергшейся воздействию.

5.4.4.2.2. Расчет отношения шансов

При изучении показателей заболеваемости и распространенности частота заболевания может быть описана как вероятность (шанс), а связь между воздействием и частотой болезни — как отношение шансов. Расчет отношения шансов проводится следующим образом:

A_1 = количество случаев заболевания в группе, подвергшейся воздействию;

B_1 = количество незаболевших в группе, подвергшейся воздействию;

A_0 = количество случаев заболевания в группе, не подвергшейся воздействию;

B_0 = количество незаболевших в группе, не подвергшейся воздействию.

Вероятность (шанс) заболевания в группе, подвергшейся воздействию: $O_1 = A_1/B_1$.

Вероятность (шанс) заболевания в группе, не подвергшейся воздействию: $O_0 = A_0/B_0$.

Отношение шансов рассчитывается по формуле:

$$O_1/O_0 = (A_1/B_1)/(A_0/B_0) = (A_1 \times B_0)/(A_0 \times B_1).$$

Конечное выражение $(A_1 \times B_0)/(A_0 \times B_1)$ представляет собой частное от деления перекрестных произведений ячеек таблицы 5.2.

Таблица 5.2. Отношение шансов

	Заболевание +	Заболевание –	
Воздействие +	A_1	B_1	N_1
Воздействие –	A_0	B_0	N_0

Отношение шансов, равное 1, означает отсутствие связи между воздействием и заболеванием. Чем больше отношение шансов отличается от 1 в положительную или отрицательную сторону, тем сильнее связь между воздействием и заболеванием. Таким образом, отношение шансов является также показателем силы связи между воздействием и заболеванием. В случае редких заболеваний отношение шансов приблизительно равно отношению рисков.

Представленная ниже памятка поможет лучше провести эпидемиологическое исследование.

- Дизайн эпидемиологического исследования играет важнейшую роль, поскольку он касается всех его аспектов. Следует формулировать цель проведения исследования и продумать, как оно будет проводиться.

- Следует четко определить исход (последствия для здоровья) и воздействие. Главное при описании результатов эпидемиологического исследования — конечные критерии, по которым судят о воздействии микробиологических угроз, а также вообще о воздействии. Конечным критерием может быть симптоматика, о которой сообщают опрашиваемые лица, указывающая на воздействие широкого спектра патогенных микроорганизмов, или что-то более специфическое. Нужно стремиться к тому, чтобы конечный критерий был как можно специфичнее.
- Нужно четко определить круг участников исследования: сформулировать критерии включения (в том числе демографические), установить методы выборки, сформулировать критерии исключения.
- Большое значение имеет также количество участников в группах, подвергшейся и не подвергшейся воздействию. Размер этих групп определяется частотой изучаемого события. Для заболеваний (в том числе инфекций), встречающихся часто, требуются меньшие по размеру группы. На число участников влияет также степень различий в частоте заболевания (инфекции) между группами, подвергшейся и не подвергшейся воздействию. Чем меньше эти различия, тем больше участников должно быть в каждой из групп. Перед началом эпидемиологического исследования полезно проконсультироваться со специалистами по поводу размера выборки.
- Следует детально описать методы сбора данных о воздействии и об исходе (последствиях для здоровья).
- Нужно подробно описать все статистические методы, которые будут использоваться для анализа данных, и предусмотреть методы контроля систематических ошибок (ошибки выборки и ошибки классификации) и искажающих факторов.
- Необходимо описать все меры, предпринятые для обеспечения качества данных, включая уровень квалификации ученых, принимающих участие в исследовании.
- План исследования должен пройти все необходимые административные проверки с целью соблюдения регламентирующих ограничений, касающихся исследований на людях, особенно в отношении конфиденциальности информации и процедуры получения информированного согласия.

5.5. Выявление, эпидемиологическое обследование и регистрация вспышек болезней, связанных с водой

Вспышкой болезни, связанной с водой, считается наличие у двух или более людей [лучше: если число случаев превышает ожидаемое (Quigley & Hunter, 2003)] похожих заболеваний после употребления воды из одного источника. Вспышки болезней, связанные с питьевой водой, не только служат индикатором неисправностей или аварий в системе водоснабжения, но и дают возможность лучше изучить механизм передачи инфекции и улучшить работу системы водоснабжения (Andersson & Bohan, 2001).

В настоящей главе обсуждается, каким образом следует эффективно ликвидировать вспышку болезни, связанной с водой. Будут рассмотрены различные стадии ликвидации вспышек: и стадия подготовки (подраздел 5.5.1), и стадия реагирования (подраздел

5.5.2). Однако, чтобы облегчить понимание основных проблем ликвидации вспышек, мы сначала кратко остановимся на следующих аспектах:

- (новые) факторы риска вспышек болезней, связанных с водой;
- основные препятствия на пути выявления вспышек болезней, связанных с водой.

Список факторов, создающих риск возникновения вспышек болезней, связанных с водой, обширен и включает в себя природные, антропогенные, технические, социальные, экономические и политические факторы. Значимость различных факторов сильно колеблется и зависит как от природных условий, так и от уровня социально-экономического развития стран; кроме того, она подвержена влиянию различных глобальных изменений. Опыт последних десятилетий показывает, что свести к нулю риск вспышек болезней, связанных с водой, до сих пор не удалось ни в одной стране.

Среди основных факторов риска целесообразно выделить следующие группы (Kistemann and Exner, 2000).

(а) Относящиеся к источникам водоснабжения:

- увеличение количества воды, извлекаемой из плохо защищенных поверхностных водоемов, животноводческие и пастбищные хозяйства, сброс сточных вод, промышленное производство, транспорт, применение и сброс опасных веществ в зонах водозабора;
- отсутствие защищенных законом зон водозабора;
- растущая изменчивость характера осадков как в пространстве, так и во времени вследствие изменения климата.

(б) Относящиеся к обработке воды:

- недостаточные, изношенные и (или) неподходящие мощности для обработки воды;
- изменения давления в водораспределительных системах, приводящие к росту микроорганизмов и биопленок;
- недостаток образования и опыта у персонала, работающего в сфере водоснабжения, ведущий к плохому планированию, нарушению правил эксплуатации и (или) технического обслуживания оборудования.

(в) Относящиеся к использованию воды:

- увеличение числа людей со сниженным иммунитетом в силу возраста (демографические изменения), потребления наркотиков и медикаментозного лечения;
- новые и сложные варианты применения воды для технических целей, например в зубоврачебном оборудовании, системах кондиционирования воздуха, градирнях, спа и т. д.;

- растут опасения, что уязвимости в системах водоснабжения могут быть использованы для террористических действий, угрожающих здоровью людей.

В конце 1990-х годов основным поводом для беспокойства стало появление новых инфекционных болезней и оживление старых, казалось бы, уже побежденных (NAS, 1992). Причиной служат различные группы патогенных микроорганизмов: впервые выявленные возбудители (например, обитающие в воде *C. parvum* и *Legionella pneumophila*), мутантные штаммы давно известных возбудителей (*V. cholerae* серогруппы O139), микроорганизмы, чья патогенность для человека была впервые установлена (*Campylobacter* spp.), вновь открытые возбудители давно известных инфекций (вирус гепатита E), а также микроорганизмы, для которых была установлена связь с хорошо изученными злокачественными, дегенеративными и другими заболеваниями (*Helicobacter pylori*).

На пути выявления вспышек болезней, связанных с водой, и их регистрации нередко встречаются препятствия, и по ряду причин многие из них, вероятно, остаются невыявленными. Случаи со слабовыраженной симптоматикой могут не регистрироваться потому, что пациенты не обратились за медицинской помощью. Больные реже обращаются за помощью к врачу, если за это надо платить. Врачи редко отправляют на анализ образцы кала больных диареей, особенно если это требует дополнительных финансовых затрат с их стороны. В случае преобладания в клинической картине желудочно-кишечных симптомов даже специалисты часто предполагают пищевую инфекцию, не принимая во внимание воду как возможный источник заражения.

Многие системы здравоохранения, даже в экономически развитых странах, не имеют необходимого числа специалистов по эпидемиологии, микробиологии и токсикологии. Еще одна проблема заключается в том, что связи между учреждениями общественного здравоохранения и учреждениями по охране окружающей среды (обычно ответственными за качество сырой воды и процессы ее обработки) не развиты и не приспособлены для экстренных ситуаций. В результате возникают трудности при сравнении количества вспышек между странами, поскольку полученные различия отражают не столько количество самих вспышек, сколько готовность национальных систем эпидемиологического надзора выявлять вспышки болезней, связанных с водой.

5.5.1. Подготовка

Перечисленные выше факторы риска и препятствия свидетельствуют о том, что органы здравоохранения должны хорошо подготовиться к (а) выявлению вспышек болезней, связанных с водой, и (б) адекватно действовать в случае возникновения таких вспышек (Exner & Kistemann, 2003).

Инфраструктура и процедуры, необходимые для ликвидации отдельного случая и (или) вспышки, должны быть подготовлены заранее. Должна быть сформирована и обучена группа ликвидации вспышки (далее просто группа), основной задачей которой является подготовка мероприятий на случай вспышки. Во главе группы должен стоять представитель местных органов здравоохранения. Кроме того, в состав группы должны входить следующие официальные лица:

- специалист по гигиене и экологической медицине из регионального центра, если таковой имеется;

- представители руководства компаний, отвечающих за водоснабжение населения;
- представители управления по вопросам водопользования из регионального агентства по охране окружающей среды, а также, при необходимости, представители управлений сельского и (или) лесного хозяйства;
- представители полиции и пожарной охраны.

Группа должна регулярно проводить заседания, чтобы установить доверие и ликвидировать барьеры в общении. Необходимо заранее назначить заместителей, чтобы обеспечить постоянное представительство всех организаций-участниц. При подозрении на вспышку круг обязанностей группы составляет:

- анализ данных о вспышке;
- выявление группы риска среди населения;
- выбор мероприятий по ликвидации вспышки;
- выделение необходимых людских и материальных ресурсов;
- контроль за мероприятиями по ликвидации вспышки и оценка их эффективности;
- определение момента прекращения вспышки;
- подготовка отчета и рекомендаций на будущее.

Для того чтобы группа могла ликвидировать вспышку болезни, связанной с водой, в условиях чрезвычайной ситуации, необходима основательная упреждающая подготовка.

Нужно разработать детальный план действий на случай вспышки и проводить периодические учения. Следует также выявить местные факторы риска и оценить значимость для местных и (или) региональных условий каждого фактора из общего списка, приведенного выше. Для успешной ликвидации вспышек абсолютно необходимо иметь банк данных, содержащий всю необходимую информацию и обеспечивающий группе быстрый доступ к ней. Система водоснабжения в целом и важнейшие процедуры — от участков водозабора до кранов в домах потребителей — должны быть подробно описаны и задокументированы. Эту работу можно очень эффективно выполнить при помощи географической информационной системы (ГИС), которая подробно описана в главе 7. Основные стадии ликвидации вспышки будут указаны далее.

Информирование общественности в чрезвычайных ситуациях имеет ключевое значение. Поэтому необходимо заранее определить, кто и как будет получать информацию о действиях группы в чрезвычайной ситуации. Во избежание распространения противоречивых сведений доводить информацию до сведения общественности должен быть уполномочен только один член группы. На такой должности неплохо иметь в группе профессионального специалиста по связям с общественностью.

5.5.2. Реагирование

Стадию реагирования в процессе ликвидации вспышек можно разделить на несколько этапов.

1. Иницирующее событие: обнаружение и подтверждение факта вспышки.
2. Немедленные действия: объявление о вспышке, быстрое и предварительное (описательное) исследование угрозы, начальные и срочные меры по ликвидации вспышки.
3. Анализ: углубленное аналитическое исследование угрозы, непрерывный пересмотр мер контроля.
4. Нормализация: завершение мероприятий и заявление о нормализации ситуации.
5. Окончание работы: оценка, официальный отчет, извлечение уроков на будущее.

Весь процесс представляет собой последовательность этапов, однако одновременно можно выполнять несколько действий. Более того, хорошее эпидемиологическое исследование вспышки предусматривает возврат к предыдущим этапам, чтобы проверить прежние выводы и гипотезы. Наконец, все эпидемиологические обследования должны быть циклическими — извлеченные уроки должны лечь в основу мер по подготовке к следующей вспышке (Quigley & Hunter, 2003).

5.5.3. Иницирующее событие

Нужно заранее составить список возможных иницирующих событий. Наиболее очевидным событием является возрастание числа регистрируемых органами эпиднадзора случаев конкретного заболевания, возможно, связанного с водой. Однако каждый раз необходимо ответить на вопрос, действительно ли в текущий момент число случаев больше ожидаемого, учитывая накопленные знания о данной болезни в данной зоне водоснабжения. Например, началась ли уже вспышка? Существует ряд проблем, связанных с выявлением иницирующих эпидемиологических событий. Эти проблемы связаны главным образом с временными колебаниями: случайные изменения, сезонные изменения, долговременные тенденции и влияние предыдущих вспышек на оценку ожидаемой заболеваемости.

Результаты микробиологического и химического исследования проб воды, превышающие допустимые нормы, всегдастораживают и должны служить сигналом к немедленным действиям. Должны насторожить и сбои в системе водоподготовки и водораспределения, включающие в себя нарушения процессов обработки воды (флокуляции, фильтрации и обеззараживания), особенно при коротком цикле, разрывы труб водораспределительной сети и необычно высокие потери воды в сети. Чрезвычайные ситуации в районе водозабора, например транспортные аварии, сильные дожди и ливневые стоки, наводнения, аварии в системах канализации и отведения сточных вод — иницирующие события, которые можно обнаружить очень рано, если создана система раннего предупреждения. Несколько жалоб от потребителей воды из одной зоны водоснабжения на изменение ее органолептических свойств также следует рассматривать как иницирующее

событие. Военные действия и террористические акты тоже представляют угрозу для системы водоснабжения. Особой бдительности требуют применение биологического и (или) химического оружия во время вооруженных конфликтов и угроза его применения, а также обнаружение необычных или особо опасных микроорганизмов (в частности, *Salmonella* spp., *S. dysenterica*, *E. coli* серотипа O157:H7, *C. parvum*).

5.5.4. Немедленные действия

Любое инициирующее событие является основанием для немедленного созыва группы ликвидации вспышки. Группа использует применяемые в эпидемиологии описательные методы для изучения и обобщения ключевой информации о заболевших и характере их заболевания: кто? когда? где? Необходимо сформулировать определение первого случая, основанное на клинической (симптомы) и лабораторной картине (результаты исследований), времени начала заболевания и некоторых географических ориентирах. Основными результатами описательного исследования являются: (а) эпидемическая кривая и (б) эпидемическая карта, содержащие важную информацию о времени и территории. На основании этих данных можно оценить эпидемиологический риск и сформулировать гипотезу о причинах вспышки. Гипотеза важна как для принятия необходимых мер, так и для планирования аналитического исследования.

Главной задачей этого этапа, однако, является снижение риска путем быстрого принятия первых мер по борьбе со вспышкой. Сбои в системе подготовки воды должны быть ликвидированы; может потребоваться дополнительное обеззараживание. По возможности следует подключить альтернативный источник водоснабжения. Нужно обезопасить лиц из группы высокого риска (желательно заранее составить список таких лиц и учреждений, где они могут находиться); населению можно рекомендовать кипятить воду перед употреблением.

Предоставлять информацию населению должен один человек — уполномоченный представитель группы, и, несомненно, на этот пост должен быть назначен профессионал.

5.5.5. Анализ

Углубленный анализ ситуации основывается на трех подходах.

1. Для оценки риска вспышек болезни, связанной с водой, можно использовать разные виды аналитических эпидемиологических исследований: экологические, исследования «до—после» и «случай—контроль», когортные, ретроспективные когортные, интервенционные и серологические.
2. Детальное экологическое и санитарно-гигиеническое обследование системы водоснабжения, включая зону водозабора, станцию обработки воды и водораспределительную сеть, помогает сформулировать гипотезу о причинах вспышки. Основным инструментом данного подхода является картографирование.
3. Санитарно-гигиеническое исследование воды до обработки, воды после обработки, воды после обеззараживания и воды, подаваемой непосредственно потребителям, обычно сводится к изучению стандартных микробиологических, физических и химических показателей.

В Англии и Уэльсе для национальной системы эпидемиологического надзора за болезнями, связанными с водой, разработана система критериев степени связи инфекционных заболеваний с водой (Tillett, de Louvois & Wall, 1998).

Во время проведения анализа необходимо критически оценивать дальнейшее развитие ситуации: есть ли новые случаи заболевания, снижается или повышается заболеваемость? Нужно постоянно пересматривать применяемые меры контроля. Необходимо выработать рекомендации по долгосрочным мерам для предотвращения новых вспышек. Они могут включать в себя новые процедуры эпиднадзора, усовершенствование водоочистительных станций, изменения технологий и системы контроля качества, принятие новых законодательных требований.

5.5.6. Нормализация

Прежде чем объявить о нормализации ситуации, необходимо ответить на следующие вопросы.

- Полностью ли поняты причины вспышки?
- Были ли приняты эффективные меры борьбы со вспышкой?
- Отмечаются ли новые случаи заболевания с учетом инкубационного периода?
- Отвечают ли пробы воды микробиологическим и химическим требованиям по меньшей мере в течение 3 дней?

После этого группа ликвидации вспышки официально объявляет общественности об окончании вспышки.

5.5.7. Окончательный отчет

Работа группы ликвидации вспышки не заканчивается после нормализации положения. Необходимо подготовить официальный отчет о вспышке заболевания. Должна быть проведена оценка эффективности принятых мер: что сработало? Что можно было сделать лучше? Кроме того, нужно оценить экономический ущерб от вспышки: это поможет обосновать необходимость адекватных профилактических мер перед теми, кто принимает решения. Наконец, надо извлечь из происшедшего уроки, с тем чтобы предотвратить новые вспышки или, по крайней мере, эффективно с ними бороться.

6. Основы эпидемиологического надзора

Основной автор: Christine L. Мое

6.1. Введение

Эпидемиологический надзор (эпиднадзор) в сфере здравоохранения определяется как «непрерывный и систематический сбор, анализ и интерпретация данных с целью описания событий, связанных со здоровьем, и наблюдения за ними» (Klaucke, 1992). Следует отметить, что в данной главе слово «эпиднадзор» относится к сбору данных о здоровье, а не данных о качестве воды. Информация, полученная от систем эпиднадзора, используется для планирования действий в сфере здравоохранения и оценки эффективности этих действий в отношении улучшения здоровья населения. Системы эпиднадзора различаются по задачам, методам сбора и распространения данных, а также по своим масштабам и сложности организации. В настоящей главе обосновывается необходимость эпиднадзора для общественного здравоохранения, описываются различные подходы к наблюдению за отдельными случаями и вспышками болезней, связанных с водой, и анализируются критерии оценки эпидемиологического надзора за болезнями, связанными с водой.

6.1.1. Для чего нужна отдельная система эпиднадзора за болезнями, связанными с водой

Прежде чем создавать систему эпиднадзора и проводить надзорные мероприятия, необходимо ответить на вопрос «для чего?». Для чего органы здравоохранения должны выделять человеческие и материальные ресурсы, чтобы осуществлять эпиднадзор за болезнями, связанными с водой? Являются ли эти болезни серьезной проблемой здравоохранения? Как будет использоваться информация, собранная системой эпиднадзора, для улучшения здоровья населения? Ответы на эти вопросы могут быть следующими: система эпиднадзора поможет выявить сообщества, в которых существуют проблемы в отношении болезней, связанных с водой, требующие принятия срочных мер для их предотвращения и сдерживания. Информация о том, в каком регионе или городе существуют проблемы в отношении болезней, связанных с водой, позволит адресно направлять ресурсы туда, где в этом есть наибольшая необходимость. После того как будут осуществлены необходимые действия в сфере водоснабжения и санитарии, система эпиднадзора сможет показать, насколько эффективны они оказались для снижения заболеваемости.

В странах с ограниченными ресурсами необходимо тщательно оценить действенность системы эпиднадзора и выбрать тот тип системы, который требуется. Сохранение традиционной системы эпиднадзора (например, системы пассивного уведомления о болезнях) может сегодня не отвечать информационным потребностям общественного здравоохранения. Данные эпиднадзора должны отвечать целям здравоохранения и быть способны оценить результаты действий, которые реально осуществимы, эффективны и экономичны. Информация о конкретных болезнях, связанных с водоснабжением и канализацией, поможет выбрать конкретные действия в зависимости от характера распространенных заболеваний и типов используемых систем водоснабжения. Ниже приведено несколько примеров.

- Информация о заболеваемости брюшным тифом может указать на необходимость массовой вакцинации в отдельных местностях.

- Информация об эпидемической или эндемической заболеваемости лямблиозом или криптоспоридиозом в сообществах, где используются поверхностные источники воды, может свидетельствовать о необходимости фильтровать воду, потому что хлорирование в отношении этих возбудителей не слишком эффективно.
- Информация о вспышках болезней, связанных с водой, при использовании систем водоснабжения, обеспечивающих надлежащую обработку воды и ее подачу по водопроводу, может указывать на проникновение патогенных микроорганизмов в водораспределительную систему и необходимость дополнительного хлорирования воды в водораспределительной системе или дополнительной обработки воды на уровне домохозяйства. Исследования, проведенные в Узбекистане (Semenza et al., 1998), показали, что более чем в 30% домохозяйств с централизованным водоснабжением остаточный хлор в воде не присутствует, несмотря на двухступенчатое хлорирование воды на станции водоочистки. Хлорирование питьевой воды в домашних условиях привело к снижению заболеваемости диареей на 62%: следовательно, большая часть случаев диареи была обусловлена употреблением питьевой воды, загрязненной в водораспределительной системе.
- Информация о высокой распространенности гельминтозов может указывать на необходимость улучшения санитарии и повышения доступности воды для мытья рук.

6.1.2. Подходы к эпиднадзору за болезнями, связанными с водой

Существует несколько подходов к организации эпиднадзора за болезнями, связанными с водой. Для планирования системы эпиднадзора и решения вопросов о том, какие данные необходимы в первую очередь и как быстро их нужно собирать и анализировать, очень важно понимать, каким образом будут использоваться результаты эпиднадзора. Планирование системы эпиднадзора можно разделить на несколько этапов.

- Какая информация (исходы [последствия для здоровья], демографические данные, факторы риска) должна собираться системой эпиднадзора?
- Каковы источники этих данных и кто будет осуществлять сбор информации?
- Какие механизмы будут задействованы для передачи информации от сборщика данных к их обработчику, аналитику и конечному потребителю?

6.1.2.1. Исходы болезней, связанных с водой

Исходы болезней, связанных с водой, бывают самыми разнообразными: от бессимптомной инфекции до смерти (табл. 6.1). Кроме того, передающиеся через воду патогенные микроорганизмы вызывают широкий спектр симптомов. Чаще всего болезни, связанные с водой, протекают в виде желудочно-кишечной инфекции и проявляются поносом, тошнотой, рвотой, кишечными коликами и, иногда, лихорадкой. Однако передающиеся через воду патогенные микроорганизмы вызывают и другие заболевания, в том числе гепатит (вирусы гепатитов А и Е), конъюнктивит (энтеровирусы), асептический менингит (энтеровирусы), респираторные расстройства (энтеровирусы), гемолитико-уремический синдром (*E. coli* серотипа O157:H7), миокардит (вирусы Коксаки), сахарный диабет (вирусы Коксаки), реактивный артрит (*Yersinia* spp., *Shigella* spp., *Salmonella* spp.), язву желудка и двенадцатиперстной кишки (*Helicobacter pylori*), рак же-

лудка (*Helicobacter pylori*), синдром Гийена—Барре (*Campylobacter* spp.). Токсины обитающих в воде микроорганизмов, в частности цианобактерий, способны стать причиной гастроэнтерита, поражения печени и нервной системы, пневмонии, фарингита, раздражения кожи и глаз, боли в ушах и других неблагоприятных последствий для здоровья (Codd & Bell, 1989; Turner et al., 1990).

Эпиднадзор за болезнями, связанными с водой, может сосредоточиться на выявлении отдельных случаев инфекций, передающихся через воду, либо вспышек этих инфекций. Могут отслеживаться широкий спектр последствий для здоровья, например все диарейные болезни, либо лишь некоторые из них, вызываемые специфическими возбудителями, например брюшной тиф, гепатит и холера.

В табл. 6.1 приведена классификация исходов по степени тяжести и указаны методы сбора данных о них. Легкие и среднетяжелые заболевания приводят к пропуску занятий учащимися и неявке взрослых на работу, самолечению антидиарейными средствами

Таблица 6.1. Методы сбора эпидемиологических данных об исходах заболеваний

Исходы	Последствия, которые могут быть обнаружены системой эпиднадзора	Возможные методы эпиднадзора
Бессимптомная инфекция	Иммунный ответ на инфекцию. Заражение окружающих	Серологические обследования
Легкая инфекция	Неявка на занятия или работу. Самолечение антидиарейными средствами. Телефонные консультации с врачом	Опросы «дозорных» семей по телефону. Мониторинг пропусков занятий и работы в «дозорных» школах и на предприятиях (с использованием телефонной или компьютерной связи). Мониторинг продаж антидиарейных средств в «дозорных» аптеках. Мониторинг звонков поставщикам медицинских услуг (круглосуточные медсестринские линии помощи)
Среднетяжелая инфекция	Неявка на занятия или работу. Самолечение антидиарейными средствами. Обращение за медицинской помощью	Мониторинг регистрационных данных «дозорных» поставщиков медицинских услуг. Мониторинг обращений в службы экстренной медицинской помощи и приемные отделения больниц. Мониторинг результатов анализов кала в клинических лабораториях и (или) случаев обнаружения возбудителей
Тяжелая инфекция	Неявка на занятия или работу. Обращение за медицинской помощью. Госпитализация	Мониторинг регистрационных данных «дозорных» поставщиков медицинских услуг. Мониторинг обращений в службы экстренной медицинской помощи и приемные отделения больниц. Мониторинг данных о госпитализации и выписке больных из больниц. Мониторинг результатов анализов кала в клинических лабораториях и (или) случаев обнаружения возбудителей
Смерть	Смерть	Мониторинг медицинских свидетельств о смерти. Опрос домохозяйств для выявления членов семей, умерших от диарейных болезней

или телефонным консультациям с врачом. Подобные исходы служба эпиднадзора может выявить, отслеживая следующие показатели: посещаемость «дозорных» учреждений (например, школ), продажи антидиарейных средств, звонки в круглосуточные медсестринские линии помощи, имеющиеся в крупных медицинских учреждениях, случаи желудочно-кишечных заболеваний в «дозорных» группах населения (например, в домах престарелых или семьях). Тяжелые заболевания могут привести к вызову врача на дом, лабораторному подтверждению инфекции, госпитализации и смерти. Источниками информации о таких исходах могут служить электронные системы регистрации посещений, которые имеются в крупных медицинских учреждениях, обращения в службы экстренной медицинской помощи и приемные отделения больниц, данные о госпитализации и выписке больных из больниц, отчеты клинических лабораторий о подтвержденных случаях инфекции, медицинские свидетельства о смерти с указанием ее причин. Некоторые из перечисленных подходов к сбору информации позволяют относительно быстро выявлять эпидемические вспышки и будут детально рассмотрены в этой главе. Однако полученная таким путем информация не позволяет отличить инфекции, передающиеся через воду, от передающихся через пищу или другими путями. Только эпидемиологические исследования, где сравниваются последствия для здоровья разных групп населения, пользующихся водой из разных источников, могут оценить вклад водного пути передачи в общую распространенность той или иной инфекции.

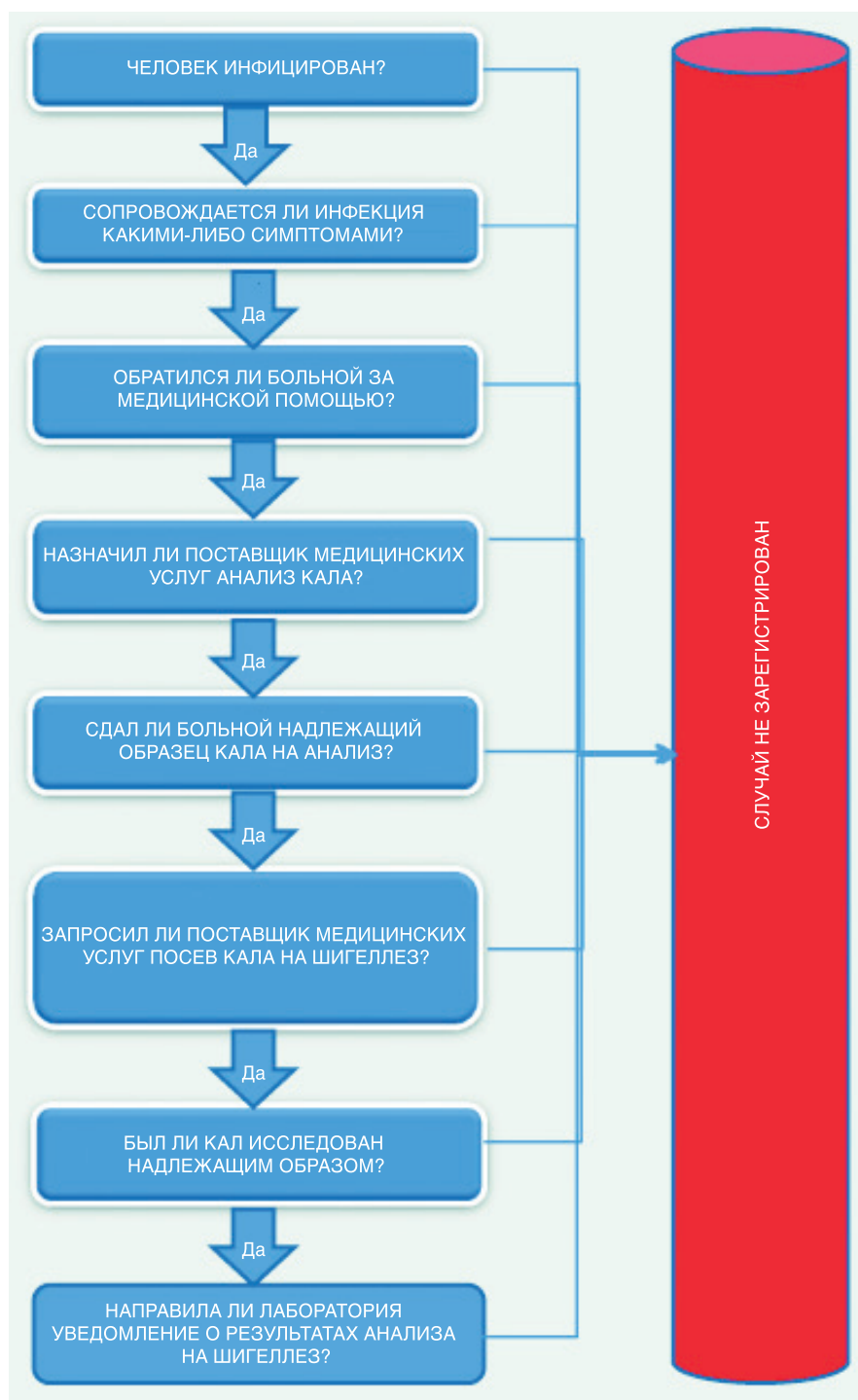
6.1.2.2. Подходы к сбору данных

После определения исходов, которые будет отслеживать система эпиднадзора, необходимо решить, как и кем будет осуществляться сбор эпидемиологических данных. Некоторые системы эпиднадзора являются пассивными, т. е. их работа основана на том, что сотрудники лечебных учреждений и лабораторий сами в добровольном порядке сообщают органам эпиднадзора или координаторам о конкретных инфекциях — отдельных (симптомы или болезнь) или многочисленных (группа случаев в определенном месте, или кластер, может означать вспышку) случаях заболевания. Во многих странах законодательством утверждены списки болезней, подлежащих регистрации. Список болезней, подлежащих регистрации, был согласован на международном уровне и закреплен в «Международных медико-санитарных правилах» (2005)⁶. В странах Центральной Азии обязательной регистрации подлежат случаи холеры, сальмонеллеза, шигеллеза, инфекций, вызванных патогенными штаммами *E. coli*, брюшного тифа и гепатита А. В некоторых странах необходимо регистрировать случаи острого гастроэнтерита, если они носят групповой характер (кластер из шести и более случаев). В большинстве штатов США медицинские работники обязаны сообщать о единичных случаях сальмонеллеза, шигеллеза, гепатита А, брюшного тифа, холеры, инфекции, вызванной *E. coli* серотипа O157:H7, криптоспориоза и лямблиоза. Пассивной системе эпиднадзора присущи следующие недостатки.

- Низкая чувствительность. Процесс передачи информации состоит из многих этапов, на каждом из которых возможна потеря данных (рис. 6.1). Многие случаи могут вообще оказаться незарегистрированными.
- Медлительность. Из-за многоступенчатости процесса передачи информации от случая заболевания до получения данных о нем органами здравоохранения может пройти несколько недель.

⁶ Более подробная информация о «Международных медико-санитарных правилах» 2005 г. приведена на сайте ВОЗ (http://www.who.int/csr/ihr/wha_58_3/en/; последнее обращение 17 ноября 2008 г.).

Рисунок 6.1. Последовательность действий при регистрации случая шигеллеза



- Система основана на добровольном участии медицинских работников, которые в силу занятости могут не иметь времени для регистрации случая заболевания. В системе не предусмотрено ни побудительных мер для предоставления информации, ни взысканий за ее непредоставление.

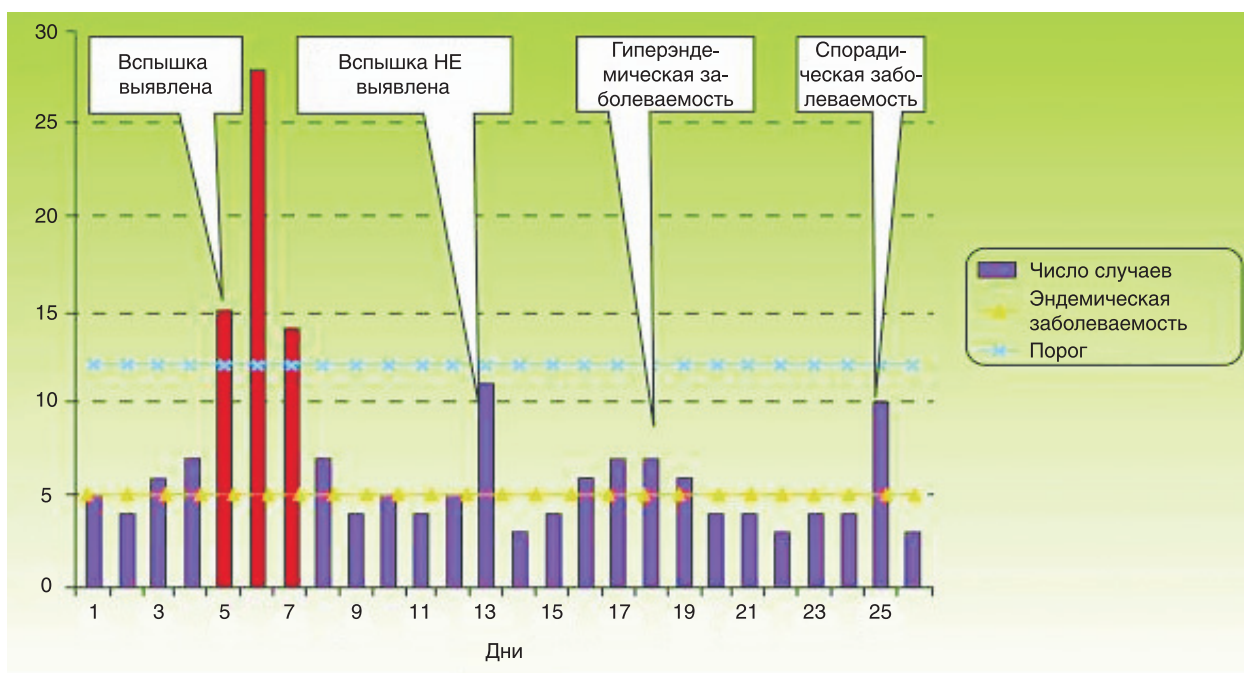
Пассивная система эпиднадзора обычно работает слишком медленно и не способна выявить эпидемическую вспышку в момент ее возникновения. Однако некоторые

вспышки обнаруживаются ретроспективно, при анализе полученных данных. На рис. 6.2 показано, как отслеживается эндемическая заболеваемость и как в случае превышения заболеваемостью порогового уровня выявляются эпидемические вспышки.

Системы эпиднадзора, как правило, не ограничиваются сбором информации о числе случаев заболевания. В зависимости от типа системы часто производится сбор следующей информации:

- дата начала болезни;
- симптомы;
- этиология (диагноз, лабораторное подтверждение);
- географическое положение;
- возраст;
- пол;
- факторы риска (другие заболевшие члены семьи, источник питьевой воды, контакты с животными, поездки, купание в общественных водоемах);
- сопутствующие проблемы со здоровьем.

Рисунок 6.2. Выявление эпидемических вспышек системами эпиднадзора



Источник: Frost, Craun & Calderon, 1996; с изменениями.

Хотя вся эта информация способствует повышению уровня знаний о группах населения, восприимчивых к той или иной болезни, и ее факторах риска, системы эпиднадзора должны ограничиваться сбором только той информации, которая необходима общественному здравоохранению для планирования вмешательств и их осуществления. Чем больше данных нужно внести в регистрационный бланк, тем больше рабочего времени тратят сотрудники и тем ниже вероятность, что случай заболевания будет зарегистрирован. Органы здравоохранения должны осознать, что для сбора определенной информации лучше провести специальное эпидемиологическое исследование целевой группы населения или заболевания, а не поручать этот сбор системе эпиднадзора. Другим подходом к эпиднадзору, который может оказаться полезным, является обследование конкретных — «дозорных» — групп населения (он будет более подробно рассмотрен далее в этой главе).

Пассивный эпиднадзор за случаями острого гастроэнтерита и специфическими инфекциями имеет свои достоинства и недостатки. Этот тип эпиднадзора может предоставить полезную информацию об изменении заболеваемости во времени. Кроме того, с его помощью можно ретроспективно, в ходе анализа собранных данных, обнаружить эпидемические вспышки. Однако важно использовать эти данные. Например, должны быть исследованы пики заболеваемости, пусть и ретроспективно, чтобы выяснить, была ли вспышка связана с недостаточной обработкой воды или воздействием других факторов риска. Ниже перечислены недостатки пассивного эпиднадзора.

- Он обладает низкой чувствительностью, поскольку лишь небольшая доля случаев подтверждается анализами кала, диагностируется и регистрируется.
- Некоторые болезни, связанные с водой, например вирусный гастроэнтерит, могут не оказаться в списке заболеваний, подлежащих регистрации.
- Обычно с момента возникновения болезни до регистрации случая проходит значительное время.

6.1.2.3. Эпиднадзор за вспышками болезней, связанных с водой

Еще одним подходом к эпиднадзору за болезнями, связанными с водой, является пассивный эпиднадзор за эпидемическими вспышками, который применяется в нескольких странах Европейского Союза (Kramer et al., 2001), Великобритании и США (Lee et al., 2002).

В Великобритании вспышки болезней, связанных с водой, регистрируются с 1850-х гг. Однако официальная система эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, была создана только в 1990-х гг. (Stanwell-Smith, Andersson & Levy, 2003). Эта система получает информацию из четырех основных источников: 1) сообщения о возможных вспышках от местных санитарных врачей и микробиологов Санитарно-эпидемиологической службы (Public Health Laboratory Service); 2) отчеты лабораторий о подтвержденных случаях заболеваний, подлежащих регистрации; 3) отчеты об обследовании качества воды и состояния окружающей среды; 4) сообщения органов, ответственных за качество питьевой воды, о предполагаемых или подтвержденных случаях загрязнения воды. Сводная информация о вспышках публикуется каждые шесть месяцев в *Communicable Disease Weekly*. Она содержит данные о количестве вспышек, количестве

случаев, этиологических агентах вспышек, а также о том, был ли соответствующий источник водоснабжения государственным или частным.

В Швеции работает многокомпонентная система эпиднадзора за инфекционными болезнями (Stanwell-Smith, Andersson & Levy, 2003), которая требует от поставщиков медицинских услуг и лабораторий сообщать о подлежащих регистрации заболеваниях. В список таких заболеваний входят амебиаз, кампилобактериоз, холера, инфекции, вызванные *E. coli* серотипа O157, лямблиоз, гепатит А, брюшной тиф, паратифы, сальмонеллез, шигеллез и иерсиниоз. Кроме того, лаборатории добровольно сообщают об инфекциях, вызванных другими патогенными штаммами *E. coli*, норовирусных и ротавирусных инфекциях, циклоспориазе и криптоспориidioзе. Вспышки болезней, связанных с водой, редко выявляются шведской системой эпиднадзора в момент их возникновения. Некоторые из них обнаруживаются бдительными врачами, которые затевают обследование, обратив внимание на группу случаев заболевания.

В США пассивная система эпиднадзора за вспышкам болезней, связанных с водой, основанная на добровольных сообщениях, была создана в 1971 г. Она предусматривает сотрудничество между Центрами контроля и профилактики заболеваний (CDC), Агентством США по охране окружающей среды (USEPA) и врачами-эпидемиологами на уровне штатов и регионов. Эта система эпиднадзора отслеживает вспышки, связанные не только с питьевой водой, но и с рекреационным водопользованием. Основные направления ее работы: 1) характеристика эпидемических вспышек болезней, связанных с водой; 2) выявление этиологических агентов, вызвавших вспышку; 3) установление факторов риска, способствовавших возникновению вспышки; 4) информирование работников здравоохранения и обучение их основным принципам выявления и расследования вспышек болезней, связанных с водой; 5) сотрудничество с местными, региональными, национальными и международными организациями по разработке стратегий предотвращения вспышек болезней, связанных с водой (Stanwell-Smith, Andersson & Levy, 2003).

С 1971 по 2000 г. с помощью данной системы эпиднадзора была зарегистрирована 731 эпидемическая вспышка, связанная с питьевой с водой. Хотя эта цифра считается заниженной, собранная информация оказалась крайне важной для повышения знаний о возбудителях болезней, передающихся через воду, и факторах риска, способствующих возникновению вспышек. Система эпиднадзора собирала следующие данные:

- характер воздействия (питьевая вода или рекреационное водопользование);
- место и дата возникновения вспышки;
- фактическое или расчетное количество зараженных, заболевших, госпитализированных и умерших;
- симптомы, инкубационный период, продолжительность заболевания;
- этиологический агент;
- эпидемиологические данные (заболеваемость, относительный риск или отношение шансов);

- лабораторные данные (результаты анализов кала и серологических тестов);
- тип водоснабжения (централизованное, коллективное или индивидуальное);
- плавательный бассейн, душевые, аквапарк, озеро (для рекреационного водопользования);
- данные об окружающей среде (результаты анализов воды, обследование санитарного состояния, проверка станций водоочистки);
- факторы, способствующие загрязнению воды.

Эти данные обобщаются, дважды в год публикуются в *Morbidity & Mortality Weekly Report* и распространяются CDC по учреждениям здравоохранения и практикующим врачам страны⁷. В табл. 6.2 приведен пример сводных данных о вспышках болезней, связанных с питьевой водой, за 1998 г.

Анализ данных эпиднадзора позволяет определить временные тенденции в отношении болезней, связанных с водой, в США. Например, имеющиеся данные показывают, что с середины 1980-х гг. общее количество зарегистрированных вспышек, связанных с питьевой водой, неуклонно снижается. В то же время количество вспышек, связанных с рекреационным водопользованием, начиная с 1978 г., когда система эпиднадзора стала их отслеживать, постепенно увеличивается. При большинстве вспышек возбудитель не устанавливается. Из патогенных микроорганизмов, передающихся с водой, чаще всего выявляются *Giardia* spp. и *Cryptosporidium* spp. И наконец, при большинстве вспышек источником заражения служили грунтовые воды (особенно полученные из мелких скважин).

Достоинствами данной системы эпиднадзора являются, прежде всего, предоставление полезной информации об изменении тенденций в развитии вспышек, связанных с питьевой водой, в США, а также гибкость системы. Она предусматривает мониторинг как питьевой воды, так и рекреационного водопользования, улавливает вспышки неизвестной этиологии и те, которые связаны и с инфекциями, и с химикатами, отслеживает вспышки гастроэнтерита, респираторных заболеваний и дерматита, а также учитывает вспышки различного масштаба. Недостатки данной системы эпиднадзора: 1) низкая чувствительность (по оценкам, регистрируется только 1 из 25 вспышек); 2) не охватываются спорадические случаи болезней, связанных с водой; 3) нет единообразия изучения вспышек в разных штатах: некоторые вспышки обследуются тщательно, включая взятие проб (как клинических, так и окружающей среды), тогда как другие — в минимальном объеме; 4) различия в качестве и полноте данных, собираемых разными штатами; 5) анализ данных обычно проводится на федеральном, а не на местном уровне. Общим недостатком является то, что о многих вспышках болезней, связанных с водой, местные органы здравоохранения так и не узнают. И даже если они обнаруживают вспышку, она может остаться необследованной и незарегистрированной из-за нехватки в местных учреждениях здравоохранения квалифицированного медицинского персонала для работы с болезнями, связанными с водой.

⁷ Эта информация также доступна на сайте CDC (www.cdc.gov/mmwr; последнее обращение 23 декабря 2010 г.).

Таблица 6.2. Вспышки болезней, связанных с питьевой водой, в США за 1998 г.^а

Штат	Месяц	Класс ^б	Этиологический агент	Число случаев	Тип водоснабжения ^в	Недостаток ^г	Источник	Условия
Вайоминг	Июнь	I	<i>E. coli</i> серотипа O157:H7	157	Кол	2	Скважина/родник	Поселок
Иллинойс	Май	III	<i>E. coli</i> серотипа O157:H7	3	Инд	2	Скважина	Дом
Миннесота	Август	I	<i>Shigella sonnei</i>	83	Кол	4	Скважина	Ярмарка
Монтана	Июль	III	Острое желудочно-кишечное заболевание ^д	5	Инд	3	Скважина	Дом
Нью-Мексико	Июль	I	<i>Cryptosporidium parvum</i> ^е	32	Инд	5	Скважина	Общественное жилище
Огайо	Октябрь	III	Острое желудочно-кишечное заболевание ^ж	10	Кол	4	Открытый водоем ^з	Станция водочистки
Техас	Июль	I	<i>Cryptosporidium parvum</i> ^и	1400	Кол	3	Скважина	Микрорайон
Флорида	Май	III	<i>Giardia intestinalis</i>	7	Кол	2	Скважина	Поселок
Флорида	Сентябрь	III	Отравление медью	35	Кол	3	Скважина	Поселок
Флорида	Декабрь	III	<i>Giardia intestinalis</i>	2	Инд	2	Скважина	Дом

Примечание: n = 10.

^а Вспышка заболевания определяется как (а) два или более человек, заболевшие одинаковой болезнью после употребления питьевой воды, + (б) эпидемиологические данные в пользу того, что вода могла быть причиной заболевания.

^б На основании эпидемиологических данных и показателей качества воды, согласно форме 52.12 CDC.

^в Кол – коллективное; Инд – индивидуальное. Коллективное водоснабжение – это система, обслуживающая не менее 60 дней в году постоянных жителей поселка, микрорайона или группы передвижных домов, охватывая не менее 15 подключений или не менее 25 жителей. Индивидуальное водоснабжение – небольшая система, которая не принадлежит коммунальным предприятиям и не обслуживается ими и охватывает менее 15 подключений.

^г 1 – необработанная вода; 2 – необработанная грунтовая вода; 3 – недостаток обработки (например, временное прекращение обеззараживания, случаи недостаточного обеззараживания, неполная фильтрация или отсутствие фильтрации); 4 – недостатки водораспределительной системы (например, случайное подключение канализации к водопроводу, загрязнение водопроводной сети во время монтажа или ремонта, загрязнение хранилищ воды); 5 – неизвестный или другой недостаток (например, зараженная бутылочная вода).

^д Острое желудочно-кишечное заболевание неизвестной этиологии.

^е У девяти пациентов анализ кала был положительным на *Cryptosporidium* spp., у одного – положительным на *Blastocystis hominis*.

^ж У одного пациента анализ кала был положительным на *B. hominis*.

^з Поверхностные воды неизвестного происхождения.

^и У 89 пациентов анализ кала был положительным на *Cryptosporidium* spp., у одного – на *Giardia* spp. Ни один из анализов не был положительным на обе инфекции.

Источник: Центры контроля и профилактики заболеваний, 2002 г.; с изменениями.

Эпиднадзор за вспышками болезней, связанных с водой, обязательно должен включать оценку данных о том, действительно ли вспышка возникла из-за загрязнения воды, или заражение произошло другим путем. В табл. 6.3 указаны критерии, используемые национальной системой эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, в Англии и Уэльсе, а в табл. 6.4 – критерии классификации вспышек этих болезней в США

Таблица 6.3. Критерии для оценки степени связи воды с инфекциями человека

Событие	Степень связи
(a) Возбудитель, найденный у пациента, был обнаружен и в пробах воды	Сильная связь при: a+c, a+d или b+c
(b) Зафиксированы низкое качество воды или неполадки в системе подготовки воды	Вероятная связь при: b+d, только с или только a
(c) Значимые результаты аналитического эпидемиологического исследования («случай–контроль» или когортного)	Возможная связь при: b + d
(d) Предполагаемая связь по результатам описательного эпидемиологического исследования	

Источник: данные Министерства здравоохранения, относящиеся к национальному эпиднадзору за болезнями, связанными с водой, в Англии и Уэльсе.

Таблица 6.4. Классификация обследований вспышек болезней, связанных с водой, в США

Класс	Эпидемиологические данные	Данные о качестве воды
I	Достаточно адекватных данных для вывода о том, что вода является источником вспышки; выборка включала лиц, и подвергавшихся, и не подвергавшихся воздействию; относительный риск или отношение шансов составляют ≥ 2 или $P < 0,05$	Представлены и адекватны: данные за прошлые годы или лабораторные данные (например, информация о поломке хлоратора, неисправности водопровода, об отсутствии остаточного хлора или о наличии в воде колиформных бактерий)
II	Адекватны	Не представлены или неадекватны (например, утверждение, что на озере было слишком много людей)
III	Данные представлены в ограниченном объеме и не соответствуют критериям класса I либо не подкрепленное данными утверждение, что пациенты не подвергались воздействию других общих факторов, за исключением воды	Представлены и адекватны
IV	Представлены в ограниченном объеме	Не представлены или неадекватны

Источник: Центры контроля и профилактики заболеваний, 2008 г.

(Stanwell-Smith, Andersson & Levy, 2003). Оба набора критериев объединяют и оценивают результаты эпидемиологических обследований, данные о качестве воды и информацию о функционировании предприятий водоочистки.

6.1.2.4. Альтернативные подходы к эпиднадзору за болезнями, связанными с водой

Другой подход к эпиднадзору — это активный эпиднадзор. Это означает, что надзорные органы регулярно контактируют с медицинскими работниками и лабораториями, с тем чтобы выяснить, не выявили ли они каких-либо инфекций, случаев заболевания и других событий. Обычно системы активного эпиднадзора более чувствительны и быстрее собирают информацию, чем системы пассивного эпиднадзора. Активный эпиднадзор за специфическими инфекциями может включать в себя, например, регулярный обзвон (например, еженедельный) «дозорных» поставщиков медицинских услуг и (или) лабораторий, чтобы узнать, как много случаев они диагностировали за прошедшую неделю. Благодаря такому подходу регистрируется большее число случаев и уменьшается задержка между постановкой диагноза и регистрацией заболевания. Однако из поля зрения системы активного эпиднадзора все равно выпадают случаи, при которых больные не обращаются к врачу или не сдают анализы для установления диагноза. Кроме

того, активный эпиднадзор обходится дороже пассивного, так как требует более высоких затрат рабочего времени и ресурсов для обеспечения связи.

В табл. 6.1 приводились некоторые подходы активного эпиднадзора к сбору данных об исходах заболеваний (от самых легких до самых тяжелых) среди местного населения. Некоторые из этих подходов называют «усиленным эпиднадзором», потому что ими можно дополнить традиционную систему пассивного эпиднадзора за болезнями, подлежащими регистрации (Frost, Craun & Calderon, 1996). Некоторые из них могут быть полезны для быстрого выявления эпидемических вспышек среди местного населения. Каждый подход, а также присущие им достоинства и недостатки будут описаны в следующих подразделах.

6.1.2.4.1. Опросы и массовые обследования

Это гибкий и зачастую недорогой подход к сбору информации о той или иной инфекции или ее последствиях для здоровья. Серологические обследования, при которых у конкретных групп населения берут образцы крови и определяют наличие в сыворотке антител против специфических возбудителей, дают представление о распространенности инфекции, причем как клинически явных, так и бессимптомных случаев. Исследование образцов кала школьников может выявить гельминтоз, в частности аскаридоз. Иногда это в большей степени научная работа, чем эпиднадзор. Однако результаты таких обследований помогают оценить эффективность конкретных программ в сфере общественного здравоохранения, например массовой вакцинации или дегельминтизации школьников. К недостаткам обследований можно отнести трудности с получением образцов от населения и высокую стоимость лабораторных исследований. Кроме того, есть основания полагать, что оценка распространенности диареи с помощью опросов местного населения завышает масштабы эпидемической вспышки (Hunter & Syed, 2001).

6.1.2.4.2. Мониторинг пропусков работы или учебы

Очень часто первым последствием инфекции является неявка заболевшего на работу или учебу. Большое количество детей, отсутствующих на занятиях, нередко указывает на вспышку заболевания в местном сообществе. Можно создать систему, использующую телефонную или компьютерную связь, для мониторинга пропусков учебы или работы в «дозорных» школах или на рабочих местах (на промышленных предприятиях и в государственных учреждениях с большим количеством работников, чей приход на работу и уход домой ежедневно регистрируется). Достоинство подобной системы в том, что она относительно проста и недорога, поддается автоматизации и способна обеспечить раннее выявление вспышек. Однако при выявлении вспышки эта система не покажет, связана ли вспышка с водой. Зато можно установить, не совпадают ли между собой пики неявки на работу в нескольких учреждениях, расположенных в разных местах, но пользующихся одним и тем же источником водоснабжения. Если да, то вероятность связи эпидемической вспышки с водой повышается. Критически важным для данного подхода является содействие учреждений, имеющих постоянный контингент учащихся или сотрудников и способных аккуратно регистрировать посещаемость занятий или пропуски работы.

6.1.2.4.3. Мониторинг обращений к медико-санитарным работникам и звонков по круглосуточным медсестринским линиям помощи

Люди с легкими формами заболевания нередко обращаются за консультацией по телефону или лично к медико-санитарному работнику или медсестре, вместо того чтобы

идти в поликлинику или к частному врачу. Такое поведение бывает вызвано желанием сэкономить или просто стремлением удостовериться, являются ли симптомы поводом для обращения за медицинской помощью. Некоторые лечебные учреждения имеют круглосуточные медсестринские линии помощи: в этом случае пациент сначала беседует по телефону с медсестрой, описывая свое заболевание, а медсестра решает, стоит ли ему обратиться к врачу.

Некоторые системы здравоохранения позволяют отслеживать такие обращения и используют эту форму контроля как недорогой и своевременный способ эпиднадзора. Медико-санитарных работников можно попросить регистрировать обращения и посещения по поводу желудочно-кишечных заболеваний. Медсестры обычно должны регистрировать все телефонные звонки и в том числе записывать данные о пациенте и симптомах. Этот подход к сбору информации, безусловно, требует от медико-санитарных работников и медсестер лечебных учреждений времени и желания сотрудничать. Его преимуществом является возможность получения данных о конкретных симптомах и выявления легких случаев, с которыми не всегда обращаются в лечебные учреждения. Недостатки заключаются в том, что он основан на самооценке симптомов и не позволяет установить связь симптомов с качеством воды.

6.1.2.4.4. Мониторинг продаж антидиарейных средств

Повышение объема продаж антидиарейных средств может быть первым признаком вспышки диарейной болезни (Sacks et al., 1986). Уровень продаж антидиарейных средств использовался также в качестве индикатора желудочно-кишечных инфекций среди местного населения при изучении зависимости между качеством воды и заболеваемостью (Beaudeau et al., 1999). Такой подход к эпиднадзору предусматривает создание сети аптек, готовых вести учет продаж антидиарейных средств, и организацию системы регулярного сбора этой информации от аптек. Это еще один сравнительно легкий и недорогой способ получения информации о случаях гастроэнтерита, который может быть автоматизирован. Он охватывает и легкие случаи, когда заболевшие не обращаются к врачу, а также дает возможность осуществлять сбор данных регулярно (еженедельно), что позволяет быстро выявить рост заболеваемости гастроэнтеритом. Однако подобная система эпиднадзора требует взаимодействия с большим количеством аптек, которые должны аккуратно регистрировать продажи конкретных препаратов. Следует также помнить, что пики продаж могут быть связаны не только с ростом заболеваемости, но и со скидками или с рекламными кампаниями.

6.1.2.4.5. Мониторинг болезней в «дозорных» семьях или учреждениях

Еще один подход к эпиднадзору — регулярный сбор данных о симптомах и болезнях в семьях, которые согласились регистрировать случаи желудочно-кишечных заболеваний. Семья может завести «дневник здоровья», а сбор данных может осуществляться путем периодических опросов домохозяйств по телефону или во время визитов медико-санитарных работников. Подобная система может быть использована для регулярного сбора данных о симптомах и болезнях в таких учреждениях, как дома престарелых и инвалидов, студенческие общежития и тюрьмы, которые согласились регистрировать случаи желудочно-кишечных заболеваний. Этот метод эпиднадзора тоже способен выявлять легкие случаи, может быть приспособлен для получения информации через короткие промежутки времени и поддается автоматизации. Понятно, что для регистрации данных этой системе необходимы сотрудничество и затраты времени большого количества семей и учреждений. Данные основаны на самооценке болезней и симпто-

мов и поэтому могут быть неточны. Кроме того, в некоторых учреждениях (например, в домах престарелых и инвалидов) может быть высок фоновый уровень заболеваемости из-за восприимчивости обитателей и множественных путей передачи инфекции. Однако всегда можно проверить, не совпадают ли между собой выявленные пики заболеваемости в нескольких учреждениях, расположенных в разных местах, но пользующихся одним и тем же источником водоснабжения. Если да, то вероятность связи эпидемической вспышки с водой повышается.

6.1.2.4.6. Мониторинг посещений медицинских учреждений по поводу желудочно-кишечных заболеваний

В зависимости от системы медицинского обслуживания в регионе можно организовать регулярный сбор данных в различных медицинских учреждениях (амбулаториях, поликлиниках, приемных отделениях больниц) об обращениях по поводу желудочно-кишечных заболеваний. Такой подход к эпиднадзору будет охватывать среднетяжелые и тяжелые случаи и может быть автоматизирован. Однако он тоже требует взаимодействия с большим числом медицинских работников и отнимает у них много времени; кроме того, трудно установить связь болезни с водой. Эта система напоминает систему эпиднадзора за болезнями, подлежащими обязательной регистрации, с той разницей, что она может быть ориентирована на «дозорных» поставщиков медицинских услуг, которые заинтересованы в предоставлении данных и ведут регистрацию обращений пациентов с использованием компьютеров.

6.1.2.4.7. Мониторинг деятельности лабораторий и результатов исследований

Клинические лаборатории служат источником ценной информации для нужд эпиднадзора. Для оценки частоты случаев диареи можно собирать информацию об общем числе образцов кала, поступивших в лабораторию для бактериологического исследования за неделю или месяц. Чтобы разграничить больничные и внебольничные инфекции, анализы кала, назначенные амбулаторным и госпитализированным больным, нужно учитывать по отдельности. Даже без выявления возбудителей информация о количестве образцов кала, поступивших для бактериологического исследования, позволяет обнаружить внезапное изменение заболеваемости желудочно-кишечными инфекциями. Кроме того, можно вести регулярный мониторинг случаев заражения энтеропатогенными микроорганизмами, подтвержденных лабораторными методами. Во многих регионах диагностические лаборатории клиник и больниц, частные медицинские лаборатории и государственные санитарно-гигиенические лаборатории уже обязаны регистрировать случаи заражения некоторыми энтеропатогенными микроорганизмами (*Giardia* spp., *Entamoeba histolytica*, *V. cholerae* и др.) и информировать о них. Система активного эпиднадзора и электронного информирования, основанная на деятельности лабораторий, позволяет быстро выявлять подтвержденные случаи заболеваний, протекающие со среднетяжелой или с тяжелой симптоматикой и вынуждающие обращаться за медицинской помощью. Такая система избирательно отслеживает те или иные инфекции. Однако ее чувствительность будет невысока, если врачи не будут назначать анализы кала, а пациенты — уклоняться от сдачи анализов.

6.1.2.4.8. Мониторинг медицинских свидетельств о смерти

Медицинские свидетельства о смерти — важный источник информации при эпиднадзоре за многими заболеваниями. Информация, содержащаяся в медицинских свидетельствах о смерти, служит также основным источником данных для официальной статистики смертности, которая используется в эпидемиологических и статистических

исследованиях, не направленных на более точную оценку смертности, вызванной воздействием определенных факторов. В медицинских свидетельствах о смерти обычно анализируется графа «основная причина смерти» — заболевание или травма, которые запустили цепочку событий, приведших к смерти. Для каждого смертельного случая основную причину выбирают из перечня состояний, приведенного в медицинском разделе свидетельства. Формат документа позволяет последовательно указывать в нем причины смерти.

В случае эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, можно организовать систему регулярной проверки медицинских свидетельств о смерти на наличие связи с энтеропатогенными микроорганизмами. Однако качество данных в свидетельствах о смерти сильно различается, потому что в некоторых свидетельствах указывается только непосредственная, а не основная причина смерти. Другой недостаток данного подхода заключается в том, что многие случаи кишечных инфекций остаются недиагностированными и не указываются в медицинских свидетельствах о смерти. Кроме того, там не указывается, каким путем произошло заражение кишечной инфекцией — через воду или нет. Еще одна проблема связана с тем, что в некоторых регионах смерть от кишечных инфекций — редкость и системе эпиднадзора нет смысла отслеживать эти события.

6.1.2.4.9. Мониторинг жалоб потребителей на качество воды

Последний из подходов к эпиднадзору за болезнями, связанными с водой, — мониторинг жалоб потребителей на качество воды и ее вид. В некоторых странах станции водоочистки регистрируют жалобы потребителей и собирают информацию о характере претензий (вкус, запах, мутность) и месте жительства потребителя, подавшего жалобу. По мере возможности станции водоочистки должны послать сотрудников для взятия проб воды по месту проживания лица, подавшего жалобу, и провести анализ воды на содержание остаточного хлора, мутность и наличие колиформных бактерий. Жалобы потребителей могут довольно рано указать на наличие серьезных проблем с качеством воды. Одним из первых индикаторов вспышки криптоспориديоза в 1993 г. в штатах Милуоки и Висконсин (США) были жалобы потребителей на мутность воды (MacKenzie et al., 1994). Анализ жалоб потребителей может дать географическую информацию об источнике проблем с качеством воды, но информации о болезнях, связанных с водой, он обычно не дает. В базу данных для отслеживания жалоб потребителей можно также добавить данные географической информационной системы (ГИС).

6.1.2.4.10. Общие замечания о достоинствах и недостатках усиленного эпиднадзора

Представленные выше альтернативные подходы к эпиднадзору позволяют получить важную информацию об изменении заболеваемости с течением времени. Некоторые из более чувствительных методов могут продемонстрировать эффективность новых законодательных норм в сфере водоснабжения или внедрения новых процессов водоочистки. Другие методы позволяют оперативно информировать органы здравоохранения о начале вспышки болезни, связанной с водой, и способствуют быстрой организации эпидемиологического обследования и принятию необходимых мер. Более детальные сведения о применении многих из этих методов и об их эффективности можно найти в докладе Исследовательского фонда Американской ассоциации по строительству водопроводов, посвященном выявлению вспышек желудочно-кишечных болезней, связанных с водой, и выпущенном в 2001 г. (Emde et al., 2001). Важно помнить, что большинство перечисленных подходов предусматривают в первую очередь эпиднадзор за кишечными инфекциями, а не за болезнями, связанными с водой, и что многие энтеропатогенные микроорганизмы не являются возбудителями заболеваний, связанных с водой.

тогенные микроорганизмы могут передаваться не только через воду, но и через пищу или контактным путем. Для того чтобы установить долю кишечных инфекций, заражение которыми произошло через воду, необходимы эпидемиологические исследования или оценка эффективности вмешательств в системе водоснабжения.

6.1.2.5. Подходы к организации эпиднадзора в регионах с ограниченными ресурсами

В условиях ограниченности ресурсов нужны инновационные подходы к эпиднадзору. В такой ситуации критически важно, чтобы мероприятия по эпиднадзору были увязаны с конкретными целями в области здравоохранения. Например, если целью регионального здравоохранения является снижение заболеваемости диареей и частоты истощения среди детей раннего возраста на 25% в течение 2 лет, то ему понадобятся надежные данные о заболеваемости диареей и питательном статусе. Пользователи данных эпиднадзора должны принимать участие в проектировании системы сбора информации, особенно в определении того, какие данные будут собираться и в каком формате будут представлены результаты. В этом случае пользователи будут уверены, что они получают данные, удовлетворяющие их потребностям. В следующих подразделах описано несколько подходов к эпиднадзору, которые оказались полезными в регионах с ограниченными ресурсами (White & McDonnel, 2000).

6.1.2.5.1. «Дозорные» клиники и лаборатории

Одним из подходов, эффективно используемых в регионах, где уровень медицинского обслуживания сильно неоднороден, является организация сети «дозорных» учреждений. Это должны быть клиники и (или) лаборатории, обладающие лучшими ресурсами и самым квалифицированным персоналом, которые могут собрать информацию о большем числе заболеваний, в том числе подробную информацию о каждом случае. Эти клиники и лаборатории могут получать дополнительную помощь от правительства и (или) международных организаций, что позволит им проводить больше диагностических исследований и вести точный учет посещений пациентов и результатов лабораторных анализов с помощью компьютерных баз данных. Данные, собранные в «дозорных» учреждениях, могут оказаться нерепрезентативными для всего населения. Обычно «дозорные» клиники и лаборатории располагаются в городах, и службе эпиднадзора, возможно, потребуется приложить усилия, чтобы создать небольшие «дозорные» клиники в сельской местности, обеспечив их дополнительными ресурсами для лучшей диагностики и сбора данных. Сеть «дозорных» клиник полезна для сбора более детальной и точной информации о конкретных факторах риска, восприимчивых группах населения, наличии штаммов микроорганизмов, устойчивых к антибиотикам, и т. д.

6.1.2.5.2. Адресные обследования

Еще один полезный подход — проведение в случае необходимости периодических адресных обследований, имеющих конкретную цель (White et al., 2001). Подобные обследования могут собрать информацию о широком спектре последствий для здоровья населения в целом. Примерами подобного подхода являются: обследование в школе, посвященное анемии у школьников из-за глистных инвазий, и обследование домохозяйств с целью выявления диарейных болезней у детей раннего возраста. Обследование учащихся начальной школы, включающее в себя сбор и анализ образцов кала, может показать необходимость дегельминтизации в группах высокого риска; его можно использовать и для оценки эффективности этого вмешательства. Обследование домохозяйств на предмет диареи может быть увязано с обучением населения или использованием пероральной регидратации.

6.1.2.5.3. Совместное использование ресурсов

Система эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, может объединиться с другими существующими системами эпиднадзора, предназначенными, например, для борьбы с полиомиелитом, детской смертностью, малярией и т. д. Некоторые программы эпиднадзора, которые уже получают поддержку от национальных и международных организаций, могут поделиться ресурсами, необходимыми для эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, в частности информацией, персоналом, транспортом, компьютерами, референтными лабораториями и т. д.

6.1.2.5.4. Обучение и стимулирование персонала

Успешные программы эпиднадзора всегда требуют компетентного персонала, преданного своему делу, качественного и непрерывного обучения, умелого руководства, возможностей карьерного роста, а также соответствующего стимулирования персонала. В регионах с ограниченными ресурсами особенно важно, чтобы программы эпиднадзора включали в себя необходимое обучение персонала, ответственного за сбор данных, потому что их образовательный уровень может оказаться недостаточным. В программу обучения должны быть включены методы проверки качества данных и процедуры контроля качества. Полнота осуществления обязанностей по эпиднадзору должна быть частью рутинной проверки качества работы персонала, ответственного за регистрацию данных. Обратная связь со стороны более высоких уровней службы эпиднадзора, касающаяся использования полученных данных, может давать дополнительный стимул для повышения качества сбора и анализа данных.

6.1.2.5.5. Потребности, связанные с инфраструктурой

Руководители общественного здравоохранения, отвечающие за эпиднадзор, должны тщательно оценить задачи системы эпиднадзора, выбрать соответствующий подход к решению этих задач и определить необходимые ресурсы для сбора и анализа данных. Для любой системы эпиднадзора требуется некоторая транспортная и коммуникационная инфраструктура. Одной из серьезнейших проблем системы эпиднадзора в сельской местности и регионах с ограниченными ресурсами является отсутствие у медицинского персонала средств транспорта для эпидемиологических обследований, взятия образцов и доставки их в лабораторию. Как уже говорилось, ее решению может способствовать совместное использование транспортных и коммуникационных ресурсов с исполнителями других государственных и международных программ. Для передачи данных от сборщиков обработчикам и аналитикам необходимы формы для сбора данных и системы связи (телефоны, интернет, надежная почтовая служба). В некоторых регионах компьютеры могут отсутствовать, быть устаревшими или требовать ремонта. Ручной ввод данных в рукописные формы занимает время и ведет к ошибкам. Если ручной ввод данных является единственным вариантом, то формы должны включать в себя контрольные перечни, составленные так, чтобы их легко было заполнять. Передача и ввод данных должны предусматривать процедуры предотвращения ошибок, например двойной ввод данных и сопоставление дубликатов баз данных с целью обнаружения несоответствия.

6.2. Создание национальной системы эпиднадзора

6.2.1. Введение

Успех любой системы эпиднадзора определяется степенью заинтересованности и квалификации персонала, осуществляющего сбор данных на местном уровне. Медицин-

ские работники, которые непосредственно работают с пациентами, выявляют кластеры заболеваний и организуют исследования вспышек, должны иметь четкое представление о задачах системы эпиднадзора, понимать, как она работает и какова картина заболеваемости в их регионе. Именно эти люди находятся на переднем крае сбора данных, поступающих в конце концов в национальную и международную системы эпиднадзора (Stanwell-Smith, Andersson & Levy, 2003; Hunter, 2003).

Как правило, эпидемические вспышки выявляются и исследуются на местном уровне. Впоследствии содействие в исследовании вспышки могут оказать эксперты национального уровня, но самым важным этапом в исследовании вспышки является ее начало, когда можно получить самые лучшие пробы как клинического материала, так и окружающей среды, позволяющие определить этиологию вспышки. Кроме того, противоэпидемические и профилактические мероприятия тоже обычно проводятся на местном уровне. В то же время надо понимать, что местные поставщики медицинских услуг и руководители местных органов здравоохранения имеют много важнейших обязанностей и им может не удаваться уделять достаточно времени эпиднадзору. Поэтому при создании системы эпиднадзора необходимо определить, на каких уровнях выполняются конкретные действия. Если принятие мер в сфере здравоохранения и решение проблем водоснабжения и санитарии происходят на местном уровне, то необходимо создать местную систему эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, и обеспечить ее требуемыми человеческими и материальными ресурсами (White & McDonnell, 2000). Национальная система эпиднадзора будет менее важна или окажется вообще не нужной, если все необходимые меры будут приниматься органами здравоохранения и службами водоснабжения и санитарии на местном уровне.

Независимо от того, организуется ли система на местном или национальном уровне, необходимо принять одни и те же решения в отношении основ функционирования системы. Эти решения можно представить в виде ответов на следующие вопросы.

- Кто отвечает за регистрацию случая заболевания?
- Кому направляется информация о случаях?
- Сбор какой информации производится?
- Кто собирает информацию?
- Как перемещаются данные между административными уровнями?
- Как хранится информация?
- Кто анализирует данные?
- Как анализируются данные?
- Как часто анализируются данные?
- Какие типы отчетов создаются?

- Как часто распространяются отчеты?
- Кому направляются отчеты?
- Каким образом распространяются отчеты?
- Предусмотрено ли автоматическое реагирование на регистрацию случаев заболевания?

6.2.2. Сбор данных

Способ сбора и передачи данных определяется техническими возможностями региона. Данные могут заноситься в формы, заполняемые вручную, или вводиться непосредственно в базу данных с использованием портативного компьютера на месте проведения исследований. Лаборатории могут сообщать о результатах анализов, вводя данные прямо на сайте в Интернете, созданном для местных клинических лабораторий или национальных референтных лабораторий. Данные могут храниться в бумажной форме, в виде журналов регистрации или картотек, а также в форме компьютерных баз данных с регулярным резервным копированием. Какая бы система ни использовалась, основными приоритетами должны быть: 1) соблюдение конфиденциальности личных данных пациента; 2) минимизация потерь данных при передаче и хранении; 3) минимизация ошибок при вводе; 4) минимизация ошибок при передаче данных; 5) хранение резервных копий данных (и для бумажных, и для электронных носителей).

6.2.3. Обработка и анализ информации

Для накопления и анализа данных эпиднадзора может быть использовано бесплатное программное обеспечение, предназначенное для эпидемиологов, например Epi Info. Программа Epi Info доступна в Интернете⁸ на семи языках (английском, французском, арабском, русском, китайском, сербском и хорватском). Инструкции для пользователей доступны также на итальянском, португальском, немецком, норвежском, венгерском, чешском, польском и румынском языках. Обычно нет необходимости в сложном анализе данных эпиднадзора. Что касается наблюдения за вспышками заболеваний, то число вспышек и число случаев заболевания обычно группируются по месяцам, географическому региону, типу водоснабжения, этиологическим агентам и иногда по факторам риска или недостаткам. Для систем эпиднадзора, регистрирующих случаи конкретных заболеваний, полезны расчеты заболеваемости по сезонам, географическим регионам, возрастным группам и полу: они отражают временное и географическое распределение заболевания и показывают, какие группы населения подвергаются наибольшему риску. Возможно, самой сложной аналитической задачей является определение знаменателя при расчете стандартизированных показателей заболеваемости для конкретных групп населения. Например, при сравнении бремени диарейных болезней в городской и сельской местности для получения информации о количестве случаев можно использовать регистрационные данные больниц, но чтобы рассчитать показатели заболеваемости — заболеваемость и распространенность, — нужно знать численность населения, которое обслуживала отдельная боль-

⁸ См. сайт CDC (<http://www.cdc.gov/epiinfo/>; последнее обращение 23 декабря 2010 г.).

ница или иное лечебное учреждение на протяжении того периода, во время которого были зарегистрированы случаи заболевания.

6.2.4. Поток информации

В большинстве систем эпиднадзора информация собирается на местном уровне и направляется на региональный или национальный уровень, где она объединяется и анализируется. Результаты анализа данных в виде отчетов направляются в национальные и, возможно, местные органы здравоохранения. Общая схема потока информации в системе эпиднадзора за болезнью представлена на рис. 6.3. Некоторые страны открывают доступ к таким отчетам общественности и международным организациям, таким как ВОЗ и различные неправительственные организации. Очень важно, чтобы обобщенные данные эпиднадзора дошли до тех, кто определяет политику в сфере здравоохранения и принимает решения о преобразованиях в сфере водоснабжения и санитарии, стратегиях вакцинации, об организации первичной медицинской помощи и т. д. Не менее важно и распространение обобщенных данных эпиднадзора на местном уровне — для поддержания заинтересованности в сотрудничестве со стороны тех, кто непосредственно собирает и предоставляет данные. В большинстве стран те, кто собирает данные (поставщики медицинских услуг и лаборатории), редко несут ответственность за неинформирование о случаях заболевания. Поэтому они должны осознавать назначение системы эпиднадзора и видеть, как собранная ими информация используется для улучшения здоровья населения.

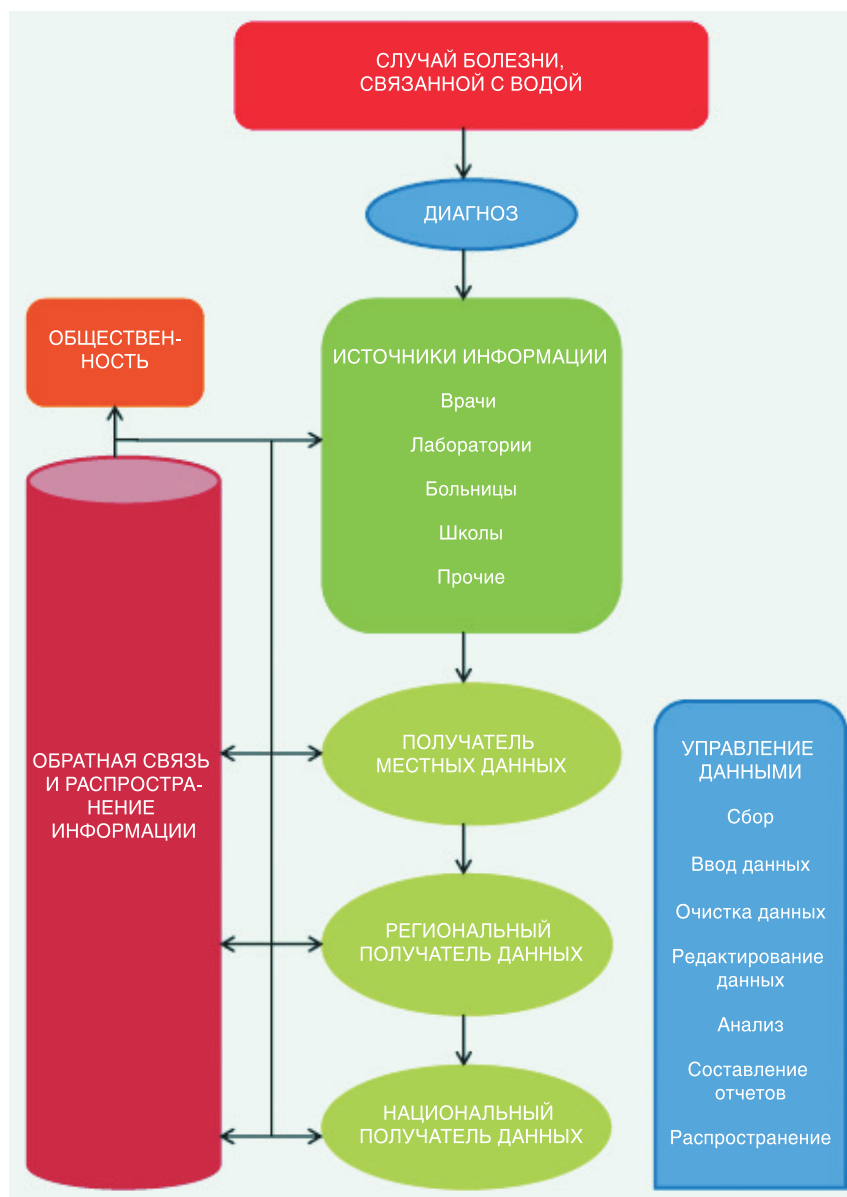
6.2.5. Использование информации

На последнем этапе определяется, как информация, полученная системой эпиднадзора, будет использоваться для охраны здоровья населения. Для системы эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, действия могут начинаться на национальном уровне, с принятия соответствующего руководства по обработке воды и улучшению качества воды и выделения необходимых ресурсов на совершенствование систем водоснабжения и санитарии в местностях с высокой распространенностью кишечных инфекций. На региональном уровне информация, полученная от системы эпиднадзора, может побудить местные органы здравоохранения и службу водоснабжения провести инспекцию и техническое обслуживание систем водоснабжения, чтобы обеспечить должную очистку воды и поставку безопасной воды потребителям. Важно наладить тесные связи между службой водоснабжения и органами здравоохранения, чтобы быстро выявлять и ликвидировать вспышки болезней, связанных с водой. В конечном счете успешность эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, зависит от того, предоставляет ли он именно ту информацию, которую органы здравоохранения и служба водоснабжения могут использовать в борьбе с этими заболеваниями.

6.3. Оценка системы эпиднадзора

Любую программу в сфере здравоохранения нужно периодически оценивать, чтобы определить, достигает ли она своих целей. Оценка особенно важна для системы эпиднадзора: без этого она может превратиться в систему рутинного сбора данных, который осуществляется ради самого процесса и без понимания конечных целей. В настоящем разделе рассматриваются критерии, которые обычно используют для оценки системы эпиднадзора, и их применение к системе эпиднадзора за болезнями, связанными с водой.

Рисунок 6.3. Поток информации о результатах эпиднадзора между местным, региональным и национальным уровнями



Источник: Клауске, 1992; с изменениями.

6.3.1. Критерии оценки

При оценке системы эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, необходимо вернуться к назначению системы и ответить на следующие вопросы.

- Нужна ли система эпиднадзора за болезнями, связанными с водой?
- Полезна ли эта система? Позволяет ли информация, поставляемая эпиднадзором, принимать стратегические решения в сфере водоснабжения и санитарии?
- Привел ли эпиднадзор к улучшению здоровья населения?

Чтобы ответить на первый вопрос — нужна ли система эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, — необходимо понять, составляют ли такие заболевания серьезную проблему для здравоохранения. Можно рассмотреть следующие данные (если они имеются):

- распространенность болезней, связанных с водой;
- заболеваемость ими;
- тяжесть этих болезней;
- преждевременная смертность, обусловленная этими болезнями;
- экономические затраты (включая затраты на медицинское обслуживание, потери из-за пропусков работы и снижение производительности труда);
- можно ли предотвратить развитие болезней, связанных с водой.

Обычно эпиднадзор, в том или ином виде, необходим, чтобы ответить на вопрос, являются ли болезни, связанные с водой, важной проблемой здравоохранения. В отсутствие информации органы здравоохранения могут прийти к ошибочному выводу, что в их регионе нет болезней, связанных с водой, потому что они за ними не следят. На мировом уровне важность болезней, связанных с водой, хорошо известна. Отсутствие доступа к чистой питьевой воде, антисанитария и несоблюдение гигиены являются причиной 4% всех смертей и 5,7% мирового бремени болезней (Pruss et al., 2002). Однако распространенность болезней, связанных с водой, сильно меняется от региона к региону. Многие страны мира независимо от того, являются ли они странами с высоким, средним или низким доходом, имеют ту или иную систему эпиднадзора за болезнями, связанными с водой. Вспышки этих заболеваний встречаются и в странах с передовыми технологиями водоочистки. Наконец, есть результаты многочисленных исследований, проведенных в разных условиях, которые доказывают, что улучшение водоснабжения и санитарных условий способствует снижению заболеваемости и смертности от болезней, связанных с водой (Esrey et al., 1991). Задача эффективной системы эпиднадзора — обеспечить информацию, на основании которой будут проводиться преобразования в сфере водоснабжения и санитарии, направленные на улучшение здоровья населения.

Оценка полезности системы эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, зависит от целей этой системы. Обычно считается, что эффективная система эпиднадзора должна обнаруживать тенденции в изменении числа случаев и числа вспышек болезней, связанных с водой. Кроме того, от нее ожидается точная оценка заболеваемости и смертности от этих болезней. Желательно также, чтобы система выявляла факторы риска болезней, связанных с водой (как эндемий, так и эпидемий), и стимулировала проведение профилактических и противоэпидемических мероприятий и (или) их разработку. И наконец, система эпиднадзора должна быть способна оценить эффективность профилактических и противоэпидемических мероприятий в отношении болезней, связанных с водой.

6.3.1.1. Критерии оценки информации

Информацию, которую предоставляет эпиднадзор, можно оценить по пяти критериям: чувствительность, предсказательная ценность положительного результата, своевременность, репрезентативность и качество данных.

6.3.3.1.1. Чувствительность

Чувствительность системы — это ее способность обнаружить подлежащие эпиднадзору события. Используя в качестве примера случаи шигеллеза, чувствительность можно выразить как $A / (A + C)$, то есть как долю истинных случаев шигеллеза, зарегистрированных системой эпиднадзора, среди всех случаев шигеллеза среди населения ($A + C$) (табл. 6.5).

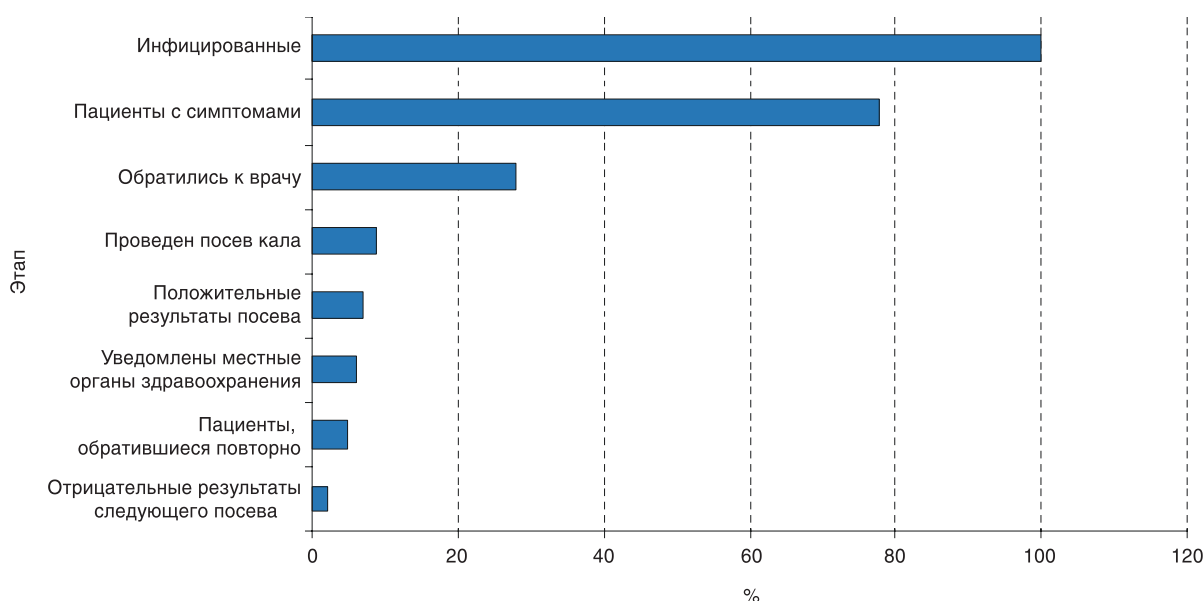
Таблица 6.5. Выявление болезни с помощью системы эпиднадзора

Зарегистрированы системой эпиднадзора		Наличие болезни		
		Да	Нет	
	Да	Истинноположительные результаты (A)	Ложноположительные результаты (B)	A + B
	Нет	Ложноотрицательные результаты (C)	Истинноотрицательные результаты (D)	C + D
		A + C	B + D	Всего

Чувствительность системы зависит от количества этапов в процессе регистрации случаев и соблюдения правил на каждом этапе. Чем длиннее процесс регистрации, тем больше информации будет потеряно. Большинство систем эпиднадзора недостаточно чувствительны, чтобы оценить реальное бремя болезни. Например, некоторые случаи шигеллеза неизбежно не диагностируются и не регистрируются (рис. 6.4).

Чувствительность эпиднадзора изменяется при переходе от одной системы к другой, от одной страны к другой и от одного географического региона к другому. Поэтому сравнивать и объединять данные, полученные разными системами, сложно. В обзоре, посвященном Европейским системам эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, пришли к выводу, что данные разных стран несопоставимы из-за различий методов ре-

Рисунок 6.4. Этапы выявления и регистрации случая шигеллеза



гистрации и определений случаев заболеваний, структур систем эпиднадзора и качества получаемых данных (Kramer et al., 2001).

6.3.1.1.2. Предсказательная ценность положительного результата

Предсказательная ценность положительного результата служит мерой точности системы эпиднадзора. Этот показатель определяется как доля истинных случаев заболевания среди всех случаев, зарегистрированных системой. В табл. 6.5 предсказательная ценность положительного результата представлена как $A / A + B$, где:

- A — число истинноположительных (подтвержденных) случаев, зарегистрированных системой эпиднадзора;
- B — число ложноположительных (не подтвердившихся) случаев, зарегистрированных системой эпиднадзора;
- $(A + B)$ — общее количество случаев, зарегистрированных системой эпиднадзора.

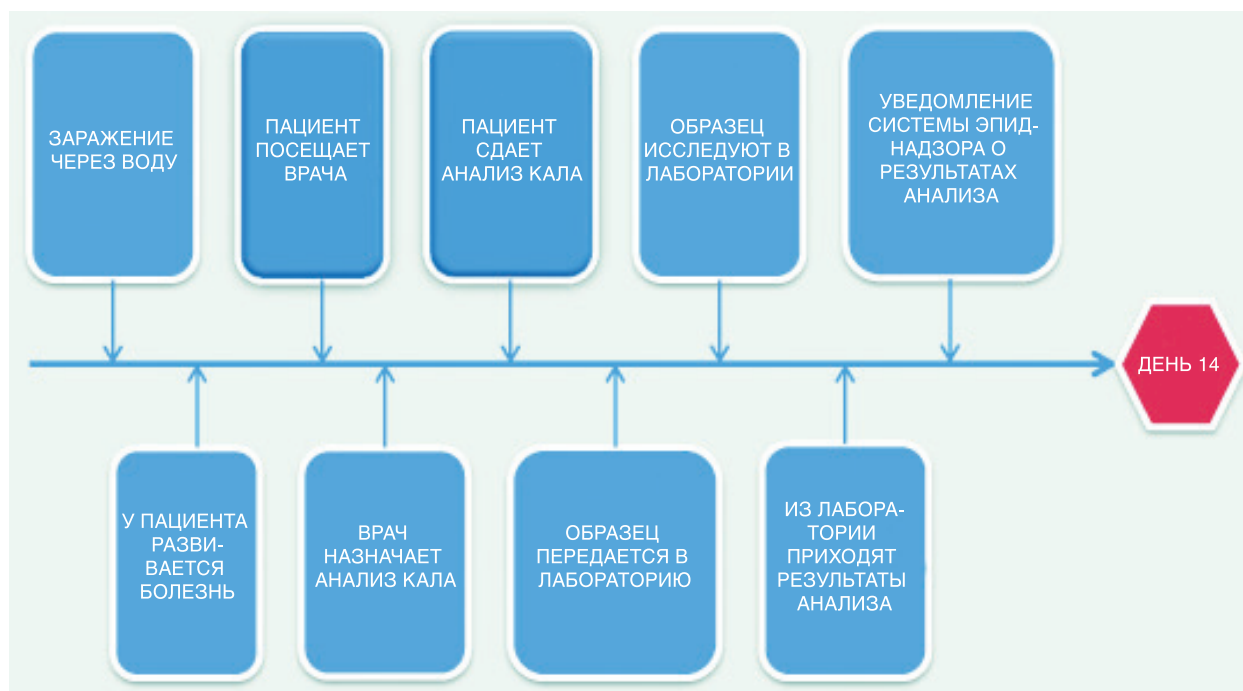
Некоторые ложноположительные случаи (B) попадают в поле зрения системы эпиднадзора из-за ошибочного диагноза или отсутствия четкого определения события, подлежащего регистрации. Например, мониторинг продаж антидиарейных средств имеет низкую предсказательную ценность положительного результата в отношении болезней, связанных с водой, потому что пики продаж бывают обусловлены скидками или новыми рекламными кампаниями. Поэтому важно сравнивать результаты, полученные при мониторинге продаж антидиарейных средств, с результатами других методов эпиднадзора за болезнями, связанными с водой.

6.3.1.1.3. Своевременность

Своевременность эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, можно оценить, измеряя время, которое проходит от возникновения случая или вспышки болезни, связанной с водой, до ее распознавания и регистрации. Как и чувствительность, своевременность может зависеть от количества этапов в процессе регистрации. Чем их больше, тем медленнее будет работать система эпиднадзора. Например, в системах эпиднадзора, основанных на результатах лабораторной диагностики, имеет место длительная задержка между заражением человека какой-либо инфекцией и получением системой эпиднадзора сообщения из лаборатории о подтверждении диагноза (рис. 6.5). Если задержка между заражением *Shigella* spp. и регистрацией случая составляет 11–14 дней, то за это время инфекция успевает передаться от заболевшего окружающим, а от них — третьему кругу лиц и своевременность системы эпиднадзора для борьбы с шигеллезом окажется недостаточной. Длительность задержки зависит также от применяемых системой эпиднадзора технологий. Если данные собираются во время личных контактов, записываются на бумаге и только затем вводятся в базу данных, то работать такая система эпиднадзора будет медленнее, чем при использовании автоматизированных систем и передачи данных по телефону или через Интернет.

И наконец, скорость регистрации событий зависит от типа системы эпиднадзора — пассивная она или активная. Достаточно ли своевременность системы, определяется задачей эпиднадзора. Может ли система эпиднадзора предоставить информацию достаточно рано, чтобы органы здравоохранения могли принять меры для предотвращения распространения инфекции? Большинство пассивных систем эпиднадзора недостаточно опе-

Рисунок 6.5. Временная задержка при эпиднадзоре, основанном на результатах лабораторной диагностики



ративны, чтобы обнаруживать вспышки болезней, связанных с водой, в момент их возникновения. Эти вспышки обычно выявляются, когда событие, послужившее первопричиной заражения, уже закончилось. Если целью эпиднадзора является быстрое обнаружение вспышек болезней, связанных с водой, то нужно использовать активные, усиленные методы надзора, описанные выше. Напротив, если цель эпиднадзора — отслеживание долгосрочных тенденций в изменениях эпидемиологической обстановки по болезням, связанным с водой, либо оценка эффективности преобразований в сфере водоснабжения и санитарии или ужесточения требований к качеству воды, то медлительность пассивных систем эпиднадзора может оказаться вполне приемлемой.

6.3.1.1.4. Репрезентативность

Данные эпиднадзора должны быть репрезентативными, то есть отражать истинную ситуацию в популяции, охваченной системой эпиднадзора. Все ли зарегистрированные случаи заболевания являются типичными случаями для данной группы населения? Вероятность регистрации тяжелых случаев нередко бывает выше, чем легких, потому что тяжелобольные чаще обращаются за медицинской помощью и им чаще ставят диагноз. Связанные с водой вспышки опасных заболеваний — брюшного тифа, холеры или инфекций, вызванных *E. coli* серотипа O157:H7, будут выявлены с большей вероятностью из-за возможности летальных исходов. Следует учесть и возможность завышенной или заниженной оценки заболеваемости среди населения с разным достатком или жителей разных регионов из-за неодинаковой доступности медицинской помощи. Довольно часто сельские районы и бедные слои населения не охватываются системой эпиднадзора из ограниченного доступа к медицинскому обслуживанию. Иногда для выявления истинного бремени болезней среди этих групп населения приходится подключать альтернативные, активные методы эпиднадзора. Крупные эпидемические вспышки, связанные с централизованными системами водоснабжения, будут выявлены системой эпиднадзора с большей вероятностью, потому что, во-первых, они затрагивают большее количество

людей и, во-вторых, в крупных населенных пунктах доступнее услуги врачей и диагностических лабораторий, которые могут выявить и зарегистрировать заболевание.

Конечно, если в большом городе заболевшие «разбредутся» по разным врачам общей практики, то сведения о необычно высокой заболеваемости дойдут до системы эпиднадзора с задержкой. Например, печально известная вспышка криптоспоридиоза в Милуоки (штат Висконсин, США) в 1993 г. была распознана, только когда количество заболевших достигло 200 000 (примерно половина всех заразившихся).

В более мелких системах водоснабжения риск возникновения проблем, связанных с передающимися через воду болезнями, выше, потому что обычно там реже проверяется качество воды, используется меньшее число процессов обработки воды, персонал менее квалифицированный и может работать неполный рабочий день. Выявлять вспышки болезней, связанных с водой, в таких системах сложнее из-за меньшего числа людей, подвергшихся воздействию, ограниченного доступа к медицинским услугам и плохой связи с региональными и (или) национальными органами здравоохранения.

6.3.1.1.5. Качество данных

Последним критерием служит качество данных, собранных системой эпиднадзора. Его можно оценить довольно простым путем — проверкой форм с данными и базы данных. Какова полнота данных эпиднадзора? Все ли формы заполнены полностью или имеется много пропусков и неясностей? Все ли поля базы данных заполнены, или многие из них пустые? Для оценки точности данных эпиднадзора нужна система подтверждения данных. В некоторых системах эпиднадзора часть данных сравнивается с результатами последующих исследований, с тем чтобы подтвердить реальность зарегистрированных эпидемических вспышек или отдельных случаев.

6.3.1.2. Критерии оценки процесса

Процесс работы системы эпиднадзора можно оценить по четырем критериям: приемлемость, простота, гибкость и стоимость.

6.3.1.2.1. Приемлемость

Приемлемость зависит от того, насколько система эпиднадзора проста для участников, особенно для тех, кто должен регистрировать отдельные случаи и вспышки болезней. Формы для регистрации должны быть краткими, содержать ясные инструкции, быть простыми для заполнения и требовать для этого минимум времени.

Система эпиднадзора должна быть приемлема и для населения. Эпиднадзор в сфере здравоохранения часто предусматривает сбор данных о деликатных, неприятных, интимных факторах риска, например о ВИЧ-статусе или заболеваниях, передающихся половым путем. Система эпиднадзора должна обеспечивать защиту личной информации по каждому из зарегистрированных случаев.

6.3.1.2.2. Простота

Простые системы эпиднадзора обходятся дешевле и зачастую работают успешнее и устойчивее. Определение случая и определение вспышки должны быть четкими. При регистрации необходимо фиксировать только необходимую информацию. Технология передачи данных с местного уровня на региональный и национальный должна быть как можно более простой, особенно в местностях, где население имеет низкий или средний

уровень доходов и где коммуникационные ресурсы ограничены. Много ценной информации может быть получено путем простейшего анализа данных — расчета заболеваемости по временам года, географическим регионам, возрастным группам и полу.

6.3.1.2.3. Гибкость

Устойчиво работающая система эпиднадзора должна быть гибкой и способной адаптироваться к изменениям в здравоохранении, политике и технологии. В эпидемиологии болезней, связанных с водой, могут произойти изменения из-за появления в географическом регионе новых, более чувствительных групп населения или новых штаммов патогенных микроорганизмов, обусловленного миграцией, военными действиями, природными катаклизмами, или из-за появления новых факторов риска. Смена правительства может привести к изменению политических приоритетов, информационных потребностей в сфере здравоохранения или законодательства относительно заболеваний, подлежащих регистрации. Технический прогресс может сопровождаться изменениями в технологии регистрации и передачи данных. Гибкой системе эпиднадзора будет легче адаптироваться к грядущим изменениям.

6.3.1.2.4. Стоимость

Стоимость зачастую является основным фактором при оценке системы эпиднадзора; обычно именно она определяет, будет ли система внедрена и будет ли устойчиво работать. Системы эпиднадзора могут требовать значительных финансовых и человеческих ресурсов. Органы здравоохранения должны сопоставить затраты на эпиднадзор с его эффективностью и решить, приемлемы ли затраты и собирается ли важная информация наиболее экономичным путем. В табл. 6.6 сравниваются затраты на пассивную и активную системы эпиднадзора в местном департаменте здравоохранения в США (Vogt et al., 1983). В данном случае активная система эпиднадзора зарегистрировала 60, а пассивная — 37 случаев заболевания. Отчеты активной системы были полнее, и врачи отмечали, что она им больше понравилась, потому что избавляла от необходимости помнить о том, что нужно информировать о случае заболевания, подлежащем регистрации. Кроме того, активная система эпиднадзора облегчила общение врачей с органами здравоохранения. В этом конкретном примере стоимость информирования системы эпиднадзора о каждом дополнительном случае заболевания составила 861 долл. США (Vogt et al., 1983).

Таблица 6.6. Сравнение затрат^а на активный и пассивный эпиднадзор

Тип эпиднадзора	Затраты, доллары США	
	Активный ^б	Пассивный ^в
Бумага	114	80
Электронная почта	185	48
Телефонная связь	1947	175
Персонал (секретарь)	3000	2000
Персонал (медсестра)	14 025	0
Всего	19 271	2303

Примечания.

^а Затраты Департамента здравоохранения штата Вермонт, США (1 июня 1980 г. — 31 мая 1981 г.).

^б Активный: еженедельные телефонные запросы из Департамента здравоохранения о случаях, подлежащих регистрации.

^в Пассивный: регистрация случаев по инициативе поставщиков медицинских услуг.

Источник: Voigt et al., 1983.

6.3.2. Оценка профессионального потенциала персонала

Способность персонала медицинских учреждений и органов здравоохранения эффективно использовать местную систему эпиднадзора можно оценить с помощью ряда основных показателей. Персонал должен: а) регулярно регистрировать данные; б) объединять собранные данные; в) уметь объяснить их смысл; г) быть способным на основе имеющихся данных предложить пути решения местных проблем здравоохранения; д) быть способным использовать имеющиеся данные для оценки действий, направленных на решение проблем водоснабжения и санитарии. Если местный персонал осуществляет эту деятельность, то он осознает полезность информации, поставляемой эпиднадзором, для планирования действий в сфере общественного здравоохранения и может поддерживать работоспособность системы эпиднадзора (White & McDonnell, 2000).

6.4. Заключение

Эффективная система эпиднадзора должна приносить пользу. Задачи эпиднадзора в отношении случаев и вспышек болезней, связанных с водой, должны соответствовать конкретным и достижимым целям общественного здравоохранения, таким как искоренение брюшного тифа или снижение детской заболеваемости гастроэнтеритом. Эпидемиологический надзор должен быть организован так, чтобы поставлять надежную информацию, необходимую для решения медицинских проблем, связанных с водой, в соответствующем регионе.

Эффективные системы эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, способны предоставить важную информацию для разработки и воплощения в жизнь преобразований в сфере водоснабжения и санитарии с целью улучшения здоровья населения. Система эпиднадзора может оценить эффективность каждого преобразования, сравнив распространенность болезни до и после него. Экономическая эффективность эпиднадзора за болезнями, связанными с водой, зависит от масштаба решаемой проблемы, прочих условий и общественных приоритетов. Если будет проводиться только сбор данных без последующего анализа и использования, то система работать не будет. Отчеты о болезнях, связанных с водой, должны распространяться на нескольких уровнях. Чтобы система была эффективной, результаты анализа данных должны достичь органов здравоохранения и служб водоснабжения и санитарии на местном, региональном и национальном уровнях, которые будут использовать их для принятия соответствующих мер. Данные эпиднадзора необходимо доводить до лиц, занимающихся сбором данных на местном уровне, — в противном случае сбор данных будет рассматриваться как бессмысленная обязанность, желания выполнять которую практически нет. Для работников здравоохранения, всегда занятых и перегруженных медицинскими и административными задачами, не будет никакого стимула собирать информацию для системы эпиднадзора, если они не будут видеть, что эта информация используется для улучшения здоровья населения.

7. Управление данными и их анализ с использованием географической информационной системы (ГИС)

Основные авторы: Thomas Kistemann, Angela Queste, Ina Wienand и Thomas Classen

7.1. Введение в ГИС

Географическая информационная система (ГИС) — это компьютерная технология для ввода, хранения, обработки, анализа и визуализации географически привязанной информации (Clarke, McLafferty & Tempalski, 1996; Croner, Sperling & Broome, 1996; Moore & Carpenter, 1999; WHO, 1999). ГИС используется в основном для сочетания средств картографирования и методов пространственно-статистического анализа (рис. 7.1).

ГИС может применяться для определения тяжести и местоположения эпидемиологических событий, анализа временных тенденций, исследования пространственного распределения заболеваемости и моделирования развития эпидемического процесса. Функции ГИС включают создание тематических карт с целью наложения различных дополнительных данных, а также формирование буферных зон вокруг выбранных объектов. Кроме того, ГИС может использоваться для выполнения конкретных расчетов, например расчетов расстояний.

ГИС работает с постоянно изменяющимися базами данных, с наличием динамической связи между географически привязанной информацией и картами. Благодаря этому обновленные данные автоматически отображаются на карте.

Одной из наиболее важных характеристик ГИС является многослойность ее структуры, что позволяет комбинировать данные о заболевании и факторах, влияющих на его развитие. Слои могут представлять, например, регионы, топографическую карту, схему землепользования, места проживания больных, систему водораспределения или частоту желудочно-кишечных инфекций. На рис. 7.2 представлены слои «Регионы», «Топографическая карта», «Землепользование» и «Местонахождение скважин для забора питьевой воды». Связь между этими различными данными позволяет получать новую информацию, а также помогает в поиске и анализе имеющихся данных.

Рисунок 7.1. Медико-географическое картографирование, пространственно-статистический анализ и ГИС

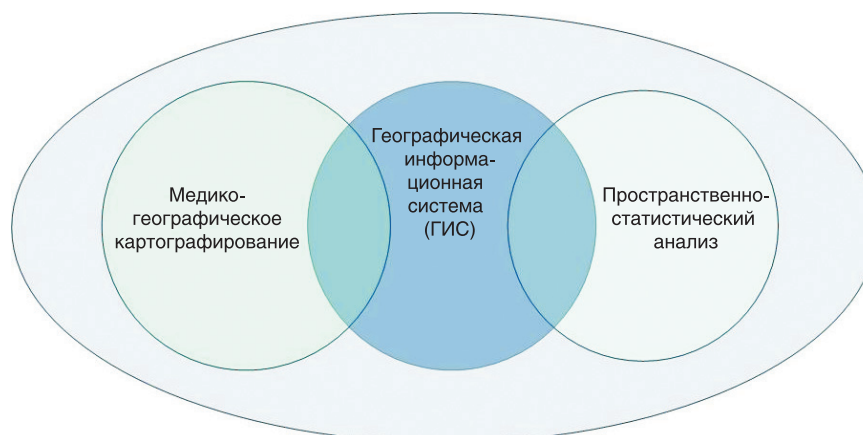


Рисунок 7.2. Многослойная структура ГИС



Источник: Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

Применение ГИС может оказаться особенно ценным для выявления угроз и оценки воздействия, а также для надзорных, противоэпидемических и профилактических мероприятий.

7.2. Применение ГИС в эпидемиологии болезней, связанных с водой

После краткого введения в ГИС покажем на примерах, как она может использоваться в эпидемиологии болезней, связанных с водой. ГИС очень удобна для оценки риска, борьбы с эпидемическими вспышками, выявления их причин и оповещения об угрозах органов здравоохранения, служб водоснабжения, а также других государственных учреждений.

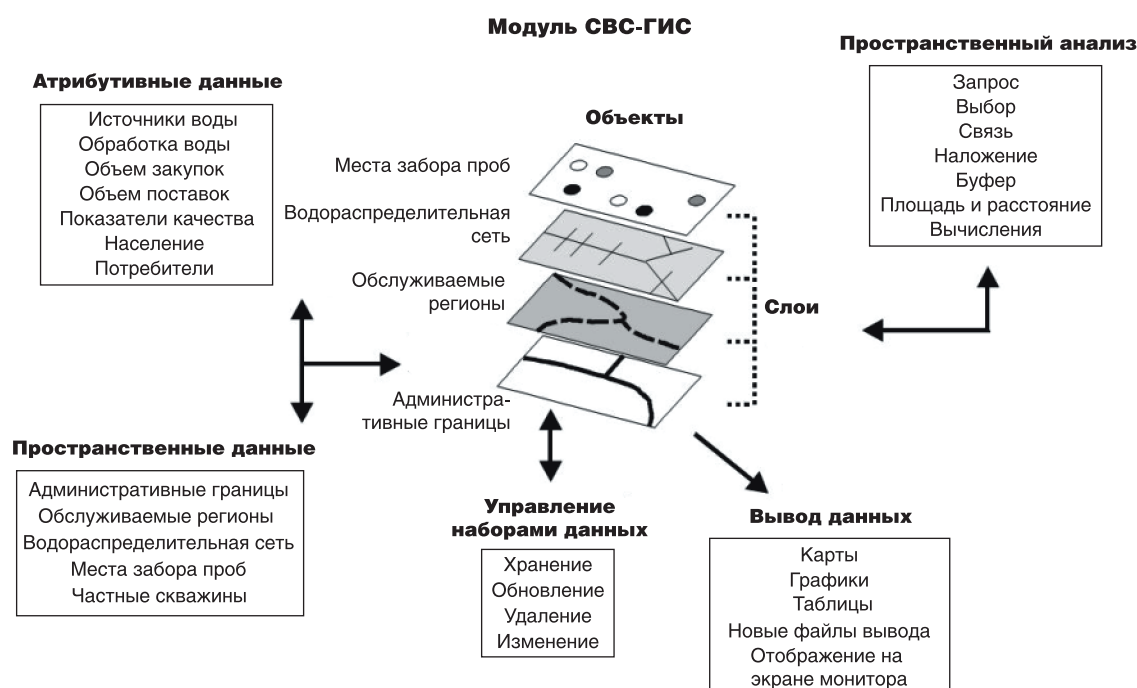
При эпидемических вспышках органы здравоохранения должны действовать быстро. В подобных ситуациях важно понимать пространственные связи, что является необходимым условием для успешных надзорных, противоэпидемических и профилактических мероприятий. ГИС является идеальным инструментом для мониторинга мероприятий по борьбе с болезнями, связанными с водой. Она позволяет установить территориальное распределение и колебания заболеваемости, представляя в доступной форме результаты анализа пространственных и временных тенденций, отображая местонахождение населения, подвергающегося риску, и оценивая распределение ресурсов. Значительная часть необходимой информации является географически привязанной, например, территориальное распределение случаев заболевания, расположение источников угроз, медицинских учреждений, элементов инфраструктуры и служб экстренной медицинской помощи. Важной составляющей плана действий в чрезвычайных ситуациях

и плана борьбы с эпидемическими вспышками является заблаговременное создание ГИС. Для хранения, анализа и визуализации данных, касающихся систем водоснабжения, специалисты Института гигиены и общественного здоровья в Бонне (Германия) разработали превосходный инструмент — модуль «Структура водоснабжения — ГИС» (СВС-ГИС; WSS-GIS). В нем объединены большие объемы данных из различных источников: данные о землепользовании на водосборных площадях, качестве воды, материалах трубопроводов, жалобах потребителей и т. д. (Kistemann, 2001b). Структура модуля СВС-ГИС приведена на рис. 7.3.

Возможности ГИС, как и других баз данных, ограничены исходными данными, поэтому крайне важно, чтобы они были высочайшего качества. Как правило, для решения различных задач к данным предъявляют разные требования, хотя некоторые наборы данных можно приобрести, например оцифрованные карты.

Инфраструктура системы водоснабжения оказывает существенное влияние на территориальное распределение болезней, связанных с питьевой водой. Поэтому очень важно иметь детальную информацию о станциях водоочистки, об установках для обеззараживания воды, о точках водозабора и водораспределительной сети, особенно при использовании стандарта качества воды НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points — анализ рисков и критические точки контроля). Одним из наиболее очевидных преимуществ ГИС является способ представления имеющихся данных. На картах могут отображаться совокупности различных типов данных, что позволяет быстро и легко находить в большом количестве информации нужные структуры и взаимосвязи. На рис. 7.4 приведены данные о точках водозабора и трубопроводах. Цвета, которыми показаны трубопроводы, соответствуют различным органам здравоохранения, ответственным за эпиднадзор в этих регионах.

Рисунок 7.3. Элементы модуля СВС-ГИС



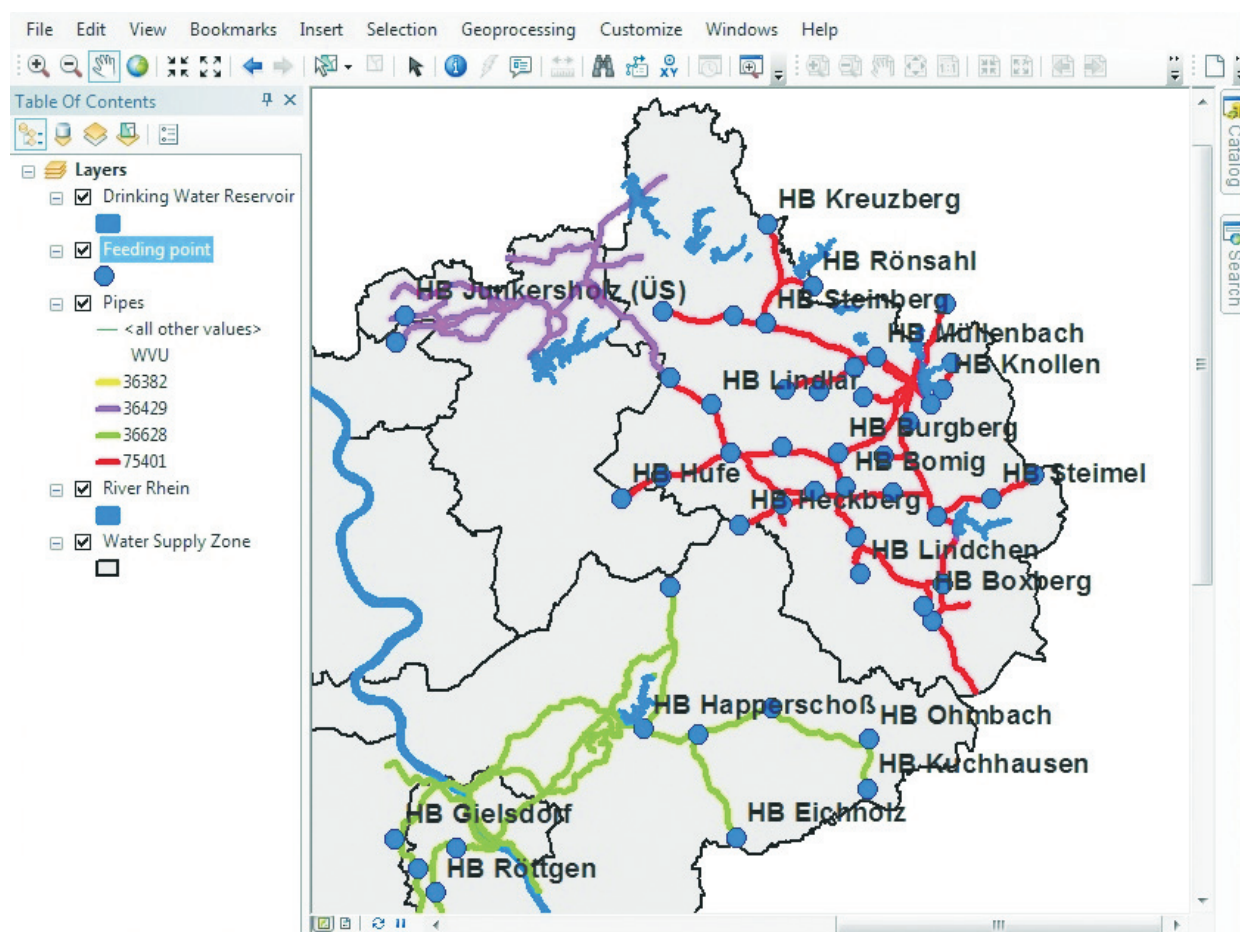
Источник: Kistemann et al., 2001b.

Поскольку инфраструктура системы водоснабжения, по крайней мере в густонаселенных районах, нередко бывает сложна и запутана настолько, что понять взаимосвязь между разными трубопроводами нелегко, использование ГИС очень полезно. Благодаря наличию в ней инструментов пространственного анализа можно описать пространственные структуры, рассчитать расстояние до выбранных объектов и предсказать значения показателей в тех местах, где измерения не проводились. На рис. 7.5 показано построение буферных зон вокруг небольшой реки в Германии (операция буферизации), на которые оказывает влияние сельскохозяйственная деятельность, например животноводство, и границы которых расположены на определенном расстоянии от реки.

Более сложным методом пространственного анализа в ГИС является интерполяция. Одним из примеров служит интерполяция методом кригинга, основанная на предположении, что объекты, находящиеся близко друг к другу, более сходны между собой, чем те, которые находятся далеко. На рис. 7.6 показано распространение химического загрязнения — летучих галогензамещенных углеводородов — на площади сбора грунтовых вод в Германии.

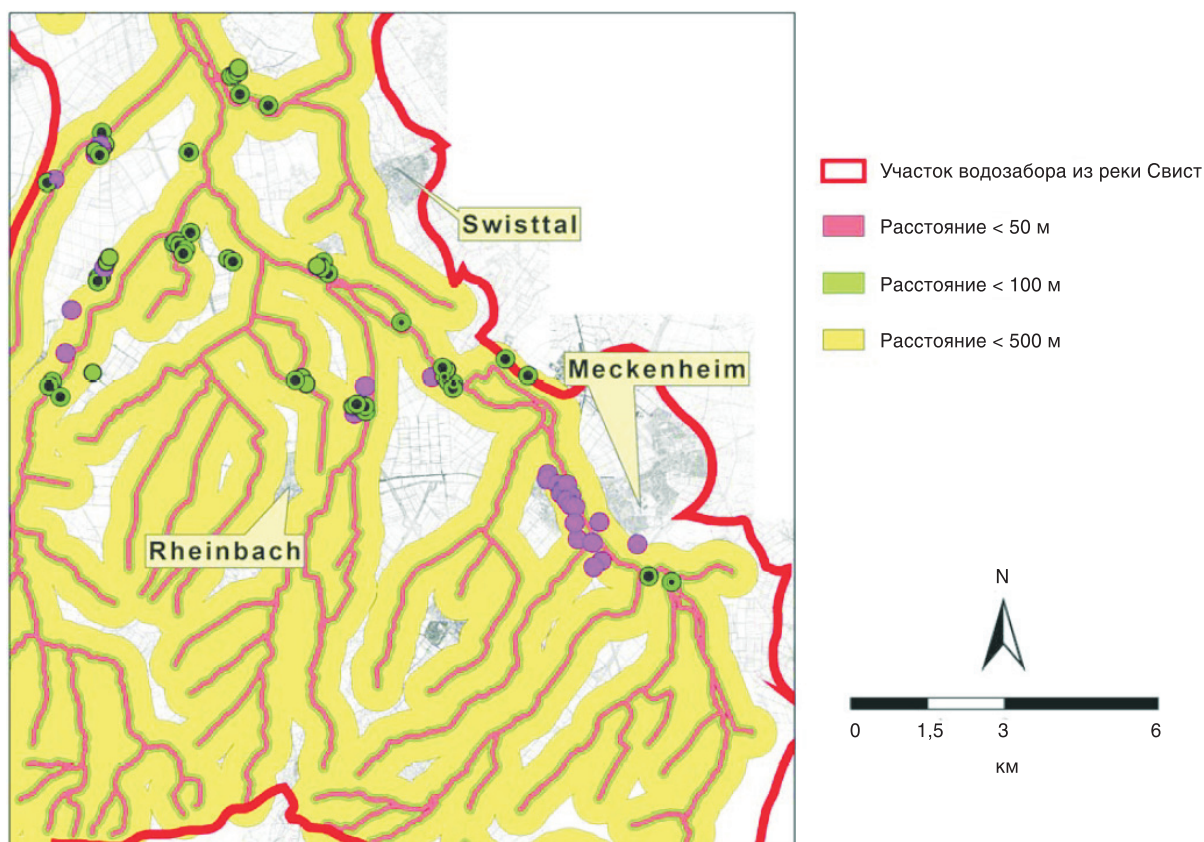
С помощью интерполяции можно предсказать загрязненность территорий, на которых не были проведены замеры. Прогнозируемая загрязненность каждого места определяется как взвешенное значение загрязненности в соседних местах, где были сделаны за-

Рисунок 7.4. Трубопроводы и места водозабора поставщиков воды в Германии



Источник: Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

Рисунок 7.5. Построение буферных зон в ГИС



Источник: Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

меры. В результате загрязненность может быть отображена на серии карт. В данном примере пространственный анализ показал, что концентрация загрязняющих веществ вниз по течению реки уменьшается, но в основном за счет веществ с высоким содержанием хлора. ГИС позволила рассчитать общее содержание летучих галогензамещенных углеводородов в грунтовых водах, и стало ясно, что загрязнение представляет значительную угрозу для системы водоснабжения.

Объединение высококачественных пространственных данных о водосборных площадях, об инфраструктуре систем водоснабжения и эпидемиологии болезней, связанных с водой, позволяет оценить бремя болезней, связанных с водой, в тех или иных условиях. Это позволяет обоснованно расставить приоритеты в борьбе с болезнями, связанными с водой. Нет сомнений, что представление информации в виде высококачественных карт сможет помочь осознанию проблем и получению нужных результатов, особенно неспециалистами.

7.3. Пример: подтверждение первой связанной с водой эпидемической вспышки лямблиоза в Германии с помощью ГИС

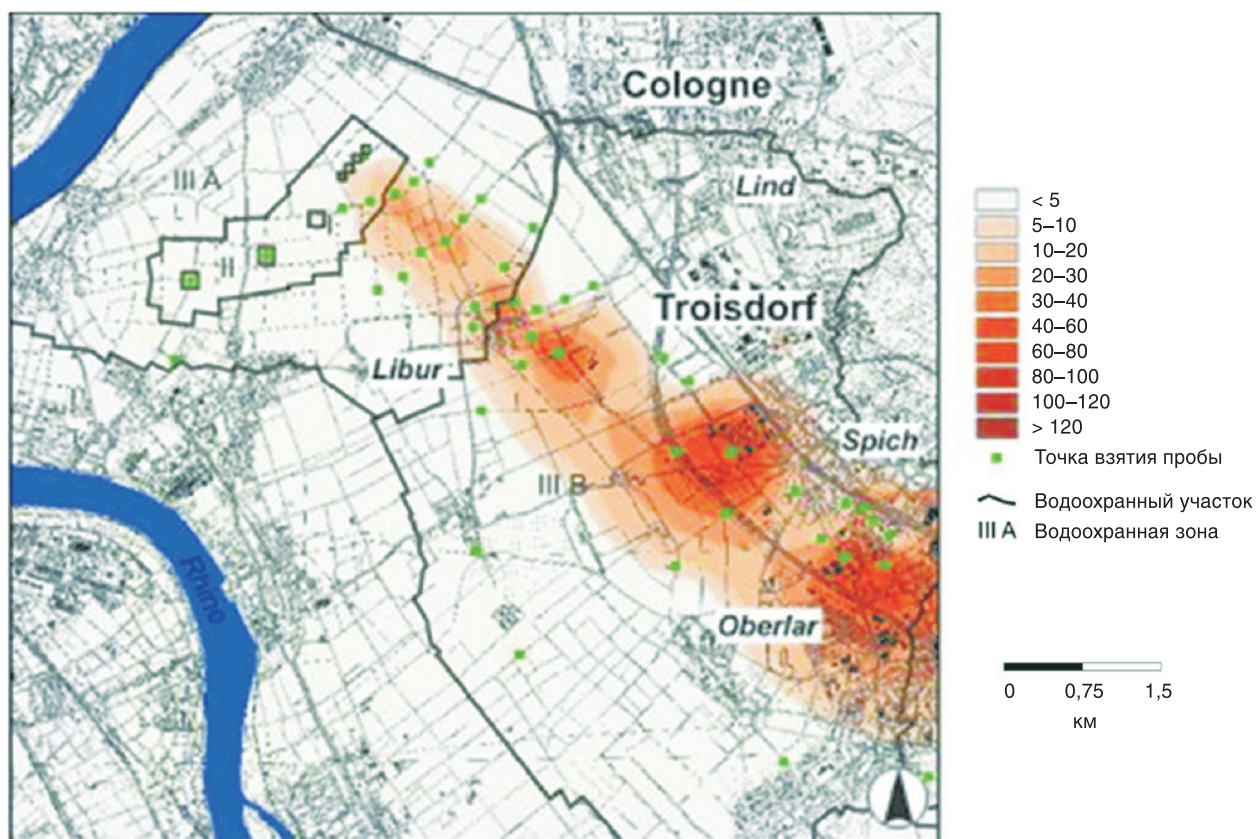
Целью предыдущего раздела было описание многочисленных возможностей ГИС для эпидемиологии. Теперь рассмотрим проведенное в 2000–2001 гг. эпидемиологическое исследование с использованием ГИС, в котором было установлено, что вспышка лямблиоза обусловлена загрязнением питьевой воды (Kistemann, Classen & Exner, 2003;

Gornik et al., 2001; Atherholt et al., 1998; Ong et al., 1996; Craun & Frost, 2002; Howe et al., 2002; Hunter & Quigley, 1998; Kramer et al., 2001; Steiner, Thielman & Guerrant, 1997; States et al., 1997; Kistemann, 2001a).

Врач общей практики деревни Ренгсдорф в Германии отметила среди своих пациентов увеличение числа диарейных болезней, начиная с мая 2000 г. Для Ренгсдорфа это не было редкостью: в 1990, 1996 и 1999 гг. там отмечалось несколько спорадических случаев лямблиоза у пациентов, жаловавшихся на понос. Тем не менее врач провел исследование кала на наличие лямблий всем своим больным с жалобами на понос. У восьми из 43 пациентов были обнаружены цисты *G. lamblia*, следовательно, распространенность лямблиоза составила 18,6%. Врач предположил, что все случаи заболевания взаимосвязаны, и сообщил о них в региональные органы здравоохранения в соответствии с Федеральным законом об эпидемиях, который требует регистрации всех инфекционных болезней. Сотрудник органов здравоохранения знал, что водный путь является одним из возможных путей передачи лямблиоза, и поэтому обратился в Институт гигиены и общественного здоровья в Бонне с просьбой провести паразитологическое и эпидемиологическое исследования и выяснить, не связаны ли случаи заражения лямблиозом в Ренгсдорфе с водой.

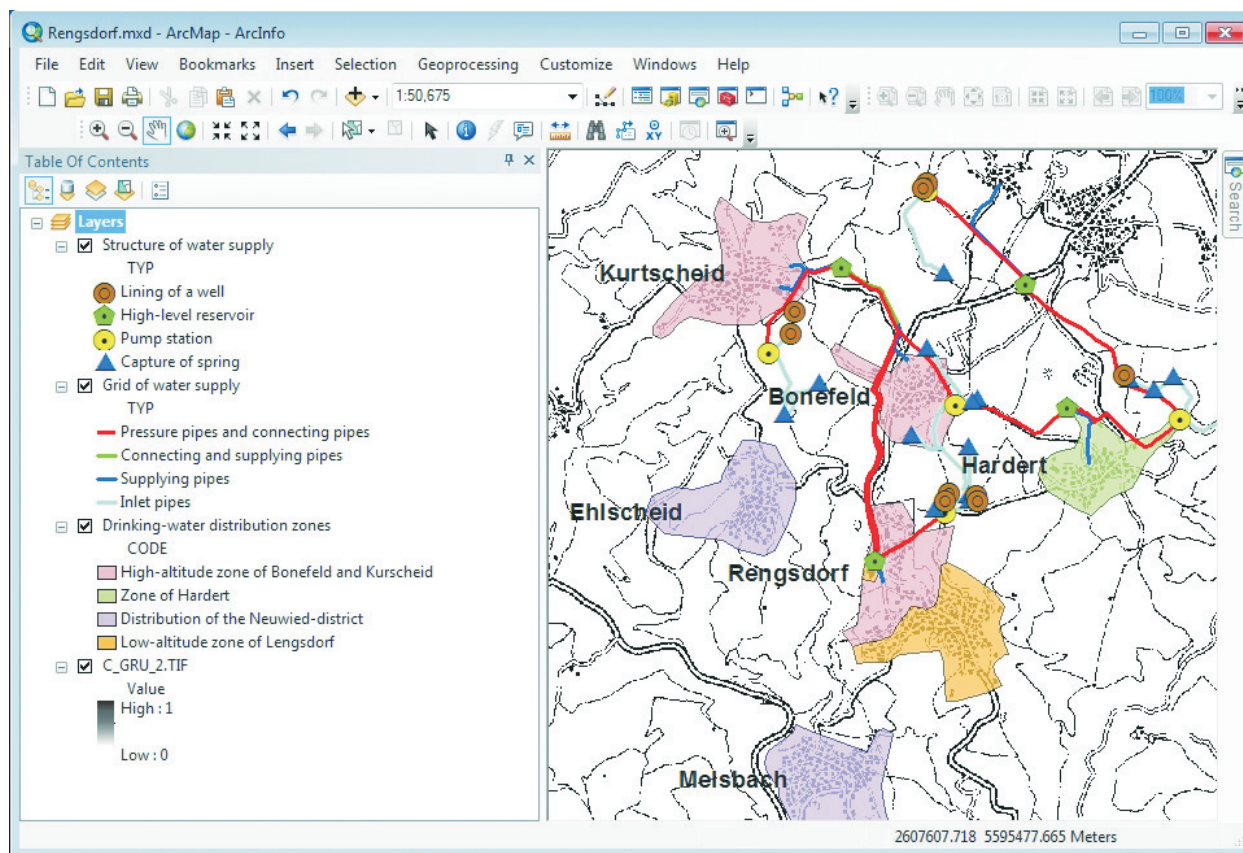
В ноябре 2000 г. было проведено ретроспективное когортное исследование, охватившее территорию, обслуживаемую врачом общей практики (Ренгсдорф), и контрольную территорию (Мельсбах). В обеих деревнях было по одной начальной школе, ученики

Рисунок 7.6. Интерполяция методом кригинга в ГИС (универсальный кригинг с линейным дрейфом, расстояние поиска — 1500 м)



Источник: Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

Рисунок 7.7. Структура системы водоснабжения в виде слоев ГИС



Источник: Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

которых были выбраны в качестве обследуемой группы населения ($N = 418$). В исследовании приняли участие 383 школьника (91,6%), их доля в общей численности населения составляла 4,1%.

У каждого участника исследования были взяты как минимум два образца кала, а родители учащихся заполняли опросник для выявления факторов риска лямблиоза. Кроме того, для каждого ученика был установлен источник домашней водопроводной воды по месту жительства. Предварительно нужно было изучить структуру системы питьевого водоснабжения в обследуемом районе. Вся информация хранилась в базе данных (MS-Access®); статистическая обработка проводилась с использованием стандартного пакета программ (EpiInfo2000®). Для пространственного анализа и информирования о результатах географически привязанные данные с помощью SQL были перенесены в ГИС (ArcView®). На рис. 7.7 показана сложная структура водоснабжения в обследуемом регионе.

В Ренгсдорфе система водоснабжения разделена на две зоны. Нижняя зона обеспечивается водой из высокоуровневого резервуара, в который вода поступает из четырех скважин и пяти родников, расположенных в близлежащих лесах и сельскохозяйственных угодьях. Обеззараживание воды осуществляется двуокисью хлора, без дальнейшей обработки. Ежедневно в сеть поступает около 600 000 л питьевой воды. Верхняя зона обеспечивается питьевой водой из другого резервуара, в который вода поступает из нескольких скважин и ручьев. Кроме того, около 10% воды постоянно поступает из резервуара нижней зоны. В сеть подается около 700 000 л питьевой воды после

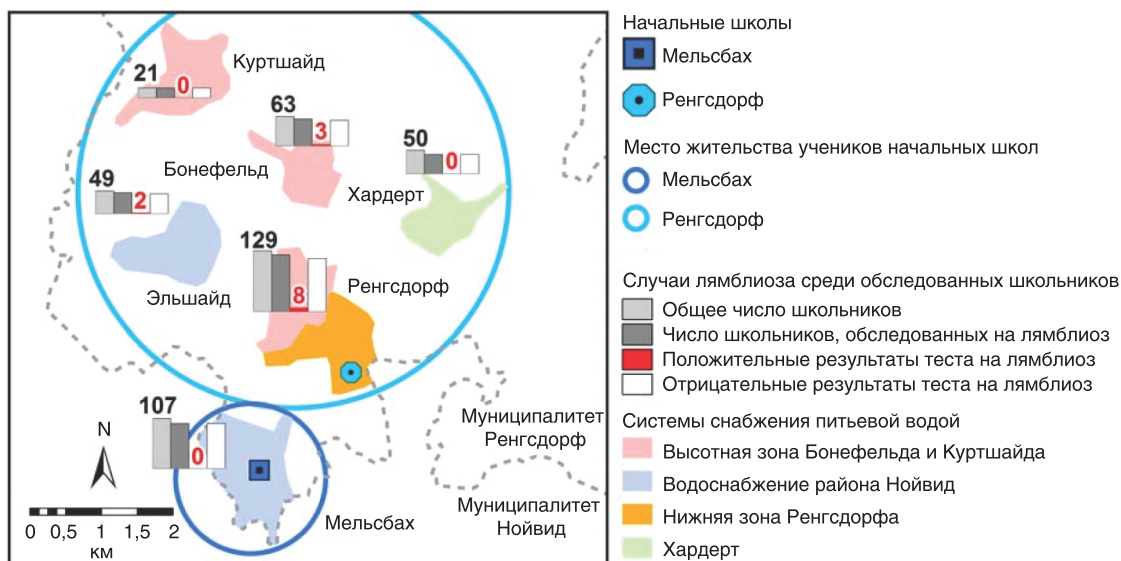
хлорирования, но без другой обработки. Деревня Хардерт имеет собственную систему водоснабжения, которая не связана с системой водоснабжения Ренгсдорфа. Мельсбах и Эльшайд получают питьевую воду из крупной региональной системы водоснабжения, в которую поступают воды из хорошо защищенных четвертичных отложений в долине Рейна. Всю эту информацию можно получить в ГИС, просто щелкнув мышью на кнопке «info». К географическим координатам в ГИС были привязаны фотографии.

Среди 383 участников было выявлено 13 случаев лямблиоза (у шести девочек и семи мальчиков). До начала исследования о заражении никто не знал, так как заболевание протекало бессимптомно. Распространенность лямблиоза среди участников составила 33,9/1000. Далее выявленные случаи распределили по деревням и рассчитали показатели заболеваемости лямблиозом для каждой из зон водоснабжения (рис. 7.8 и 7.9).

Для того чтобы оценить связь между случаями лямблиоза и источниками водоснабжения, были объединены данные по зонам водоснабжения, не связанным с водоснабжением Ренгсдорфа, а именно Хардерт, Эльшайд и Мельсбах. В нижней зоне водоснабжения Ренгсдорфа риск заболевания оказался выше в 6,9 раза ($P = 0,008$). В зоне водоснабжения Бонефельда риск был выше в 3,5 раза ($P = 0,078$). При объединении этих двух зон превышение риска составило 5,1 раза ($P = 0,009$). Изучение особенностей домашнего употребления воды показало, что риск заражения лямблиозом существенно увеличивается, если водопроводную воду перед питьем газифицируют (например, с помощью сифона SodaStream). Другие факторы, в частности привычки питания, поездки, контакты с животными и купание в естественных водоемах, не влияли на риск заражения лямблиозом.

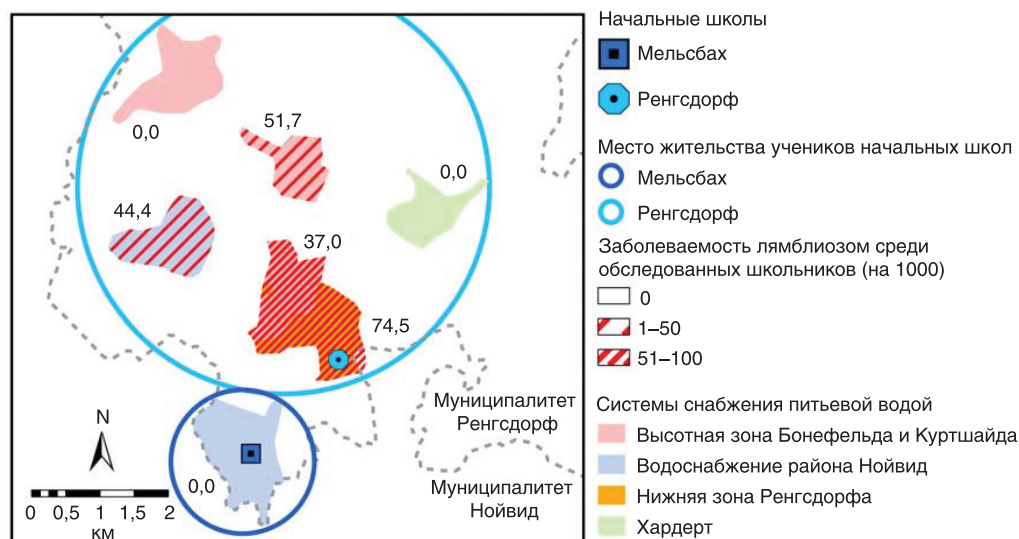
Одновременно с эпидемиологическим исследованием в Ренгсдорфе было проведено микробиологическое и паразитологическое исследование питьевой воды, а также обследование местности. Подозрения подтвердились: в образцах воды, как не прошед-

Рисунок 7.8. Распространенность лямблиоза среди обследованных школьников



Источник: Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

Рисунок 7.9. Заболеваемость лямблиозом среди обследованных школьников^а



Примечание. ^а По зонам водоснабжения и деревням.

Источник: Институт гигиены и общественного здоровья, Боннский университет, Германия.

шей, так и прошедшей обработку были найдены цисты *G. lamblia* и *E. coli*. Обследование местности (результаты сохранялись в ГИС в виде карты и привязанных к ней атрибутивных данных) подтвердило наличие нескольких природных факторов риска на очень близком расстоянии от родников, которые с высокой степенью вероятности и явились источником заражения воды. К ним относятся, например, вольер для оленей и система аварийного сброса сточных вод. Однако ретроспективно установить конкретный источник заражения было невозможно.

Вспышка в Ренгсдорфе оживила в Германии интерес к болезням, связанным с водой. В обсуждении участвовали политики, чиновники, работники служб водоснабжения и ученые. Эпидемиологическое исследование с привлечением ГИС наглядно продемонстрировало, что вспышки болезней, передаваемых водным путем, могут возникать на территории Германии и, возможно, чаще, чем мы думаем.

8. Литература

- Ainsworth R, ed. (2004). *Safe piped water – managing microbial water quality in piped distribution systems*. London, International Water Association.
- Andersson Y, Bohan P (2001). Disease surveillance and waterborne outbreaks. In: Fewtrell L, Bartram A. *Water quality: guidelines, standards and health*. London, International Water Association:115–133.
- Arnold BF, Colford JM Jr (2007). Treating water with chlorine at point-of-use to improve water quality and reduce child diarrhoea in developing countries: a systematic review and meta-analysis. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 76(2):354–364.
- Astrachan NB, Archer BG, Hilbelink DR (1980). Evaluation of the subacute toxicity and teratogenicity of anatoxin-a. *Toxicon*, 18:684–688.
- Atherholt TB et al. (1998). Effect of rainfall on Giardia and crypto. *Journal of the American Water Works Association*, 90(9):66–80.
- Azevedo SM et al. (2002). Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru-Brazil. *Toxicology*. 181–182:441–446.
- Barbash JE et al. (2001). Major herbicides in ground water: results from the national water-quality assessment. *Journal of Environmental Quality*, 30:831–845.
- Bartram J, ed. (2002). *Water and health in Europe – Joint report from the European Environment Agency and the WHO Regional Office for Europe*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe (WHO Regional Publications European Series, No. 93; http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/98449/E76521.pdf, accessed 9 August 2010).
- Bartram J, Fewtrell L, Stenström TA (2001). Harmonised assessment of risk and risk management for water-related infectious disease: an overview. In: Fewtrell L, Bartram J, eds. *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. London, International Water Association:9 (http://whqlibdoc.who.int/publications/2001/924154533X_chap1.pdf, accessed 9 August 2010).
- Bartram J et al., eds. (2007). *Legionella and the prevention of legionellosis*. Geneva, World Health Organization (http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/legionella.pdf, accessed 6 August 2010).
- Bartram J et al. (2009) *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. Geneva, World Health Organization (http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241562638_eng.pdf, accessed 9 August 2010).
- Baqui AH et al. (1991). Methodological issues in diarrhoeal diseases epidemiology: definition of diarrhoeal episodes. *International Journal of Epidemiology*, 20(4):1057–1063.
- Batorèu MCC et al. (2005). Risk of human exposure to paralytic toxins of algal origin. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 19:401–406.
- Beaudeau P et al. (1999). A time series study of anti-diarrhoeal drug sales and tap-water quality. *International Journal of Environmental Health Research*, 9:293–311.
- Beaglehole R, Bonita R, Kjellström T (1993). *Basic epidemiology*. Geneva, World Health Organization.

Blum D, Feachem RG (1985). *Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Part III: an epidemiological perspective*. Dübendorf, International Reference Centre for Waste Disposal (IRCWD) (Report No. 05/85).

Bonita R, Beaglehole R, Kjellström T (2006). *Basic epidemiology, 2nd edition*. Geneva, World Health Organization.

Botes DP et al. (1985). Structural studies on cyanoginosins-LR, YR, YA, and -YM peptide toxins of *Microcystis aeruginosa*. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions*, 1:2742–2748.

Bradley DJ (1974). Chapter in human rights in health. *Ciba Foundation Symposium*, 23:81–98.

Byth S (1980). Palm Island mystery disease. *Medical Journal of Australia*, 2:40–42.

Centers for Disease Control and Prevention (2008). Surveillance for waterborne-disease and outbreaks associated with recreational water use and other aquatic facility-associated health events – United States, 2005–2006. *Mortality and Morbidity Weekly Report Surveillance Summaries*, 57(8):1–38.

Centers for Disease Control and Prevention (2002). Surveillance for waterborne-disease outbreaks – United States, 1999–2000. *Morbidity and Mortality Weekly Report Surveillance Summaries*, 57(8):1–47.

Centers for Disease Control and Prevention (1998). Epidemic typhoid fever-Dushanbe, Tajikistan, 1997. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 47 (36):752–756.

Cerejeira MJ et al. (2003). Pesticides in Portuguese surface and ground waters. *Water Research*, 37:1055–1063.

Chin J (2000). *Control of communicable diseases – manual*. Washington, NY, American Public Health Association.

Chorus I (2005). *Current approaches to cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries* Berlin, Federal Environmental Agency [Umweltbundesamt].

Chorus I, Bartram J, eds. (1999). *Toxic cyanobacteria in water*. London, E&FN Spon.

Clarke KC, McLafferty SL, Tempalski BL (1996). On epidemiology and geographic information systems: a review and discussion of future directions. *Emerging Infectious Diseases*, 2(2):85–92.

Clasen TF, Bastable A (2003). Faecal contamination of drinking-water during collection and household storage: the need to extend protection to the point of use. *Journal of Water and Health*, 1(3):109–115.

Clasen T et al. (2005). Household-based ceramic water filters for the prevention of diarrhoea: a randomized, controlled trial of a pilot program in Columbia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 73(4):790–795.

Clasen T et al. (2006). Interventions to improve water quality for preventing diarrhoea. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3:CD004794.

Clasen T et al. (2007). Interventions to improve water quality for preventing diarrhoea: systematic review and meta-analysis. *British Medical Journal*, 334(7597):782.

Codd GA, Bell S, Brooks W (1989). Cyanobacterial toxins in water. *Water Science and Technology*, 16:1–13.

- Codd GA, Morrison LF, Metcalf JS (2005). Cyanobacterial toxins: risk management for health protection. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 203:264–272.
- Comoretto L et al. (2008). Runoff of pesticides from rice fields in the Ile de Camargue (Rhône river delta, France: field study and modelling. *Environmental Pollution*, 151(3):486–493.
- Cox PA et al. (2005). Diverse taxa of cyanobacteria produce beta-N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino acid. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102:5074–5078.
- Craun GF, Frost FJ (2002). Possible information bias in a waterborne outbreak investigation. *International Journal of Environmental Health Research*, 12(1):5–15.
- Croner CM, Sperling J, Broome FR (1996). Geographic information systems (GIS): new perspectives in understanding human health and environmental relationships. *Statistics in Medicine*, 15(17–18):1961–1977.
- Dagnac T et al. (2002). Determination of oxanilic and sulfonic acid metabolites of acetochlor in soils by liquid chromatography – electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 957:69–77.
- David AS, Wessely SC (1995). The legend of Camelford: medical consequences of a water pollution accident. *Journal of Psychosomatic Research*, 39(1):1–9.
- Dietrich D, Hoeger S (2005). Guidance values for microcystins in water and cyanobacterial supplement products (blue green algal supplements): a reasonable or misguided approach? *Toxicology and Applied Pharmacology*, 203:273–289.
- Doyle M (1990). Pathogenic *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, and *Vibrio parahaemolyticus*. *Lancet*, 336(8723):1111–1115.
- Dupont HL (2000). *Shigella* species (Bacillary dysentery). In: Mandell GL et al. *Principles and Practice of Infectious Diseases*. Philadelphia, Churchill Livingstone:2363–2369.
- Duy TN et al. (2000). Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue-green algal) toxins in water. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 163:113–186.
- EEA (1999). *Groundwater quality and quantity in Europe*. Copenhagen, European Environmental Agency (Environmental Assessment Report, No. 3).
- Egorov AI (2004). Serological evidence of cryptosporidium infections in a Russian city and evaluation of risk factors for infections. *Annals of Epidemiology*, 14(2):129–136.
- Egorov AI et al. (2002). Deterioration of drinking-water quality in the distribution system and gastrointestinal morbidity in a Russian city. *International Journal of Environmental Health Research*, 12:221–223.
- Egorov AI et al. (2003a). Exposures to drinking-water chlorination by-products in a Russian city. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206(6):539–551.
- Egorov AI et al. (2003b). Daily variations in effluent water turbidity and diarrhoeal illness in a Russian city. *International Journal of Environmental Health Research*, 13(1):81–94.
- El Saadi OE et al. (1995). Murray River water, raised cyanobacterial cell counts, and gastrointestinal and dermatological symptoms. *Medical Journal of Australia*, 162:122–125.
- Emde KME et al. (2001). *Gastrointestinal disease outbreak detection*. Denver, CO, American Water Works Association Research Foundation & American Water Works Association.

Esrey SA et al. (1991). Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhoea, dracunculiasis, hookworm infection, schistosomiasis, and trachoma. *Bulletin of the World Health Organization*, 69:609–621.

European Union (1991). EU Directive 91/492/EEC of 15 July 1991 laying down the health conditions for the production and the placing on the market of live bivalve molluscs. *Official Journal of the European Union*, L 268, 24–9-1991 (<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31997L0061:EN:HTML>, accessed 17 Nov 2008).

Exner M (1996). Risk assessment and risk prevention in infectious diseases. *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin*, 199(2–4):188–226.

Exner M, Kistemann T (2003a). Is there a need for better drinking-water quality management? In: Schmoll O, Chorus I. *Water Safety*. Berlin, Federal Environmental Agency: 11–18.

Exner M, Kistemann T (2003b). Strukturelle Voraussetzungen und Massnahmen zur Kontrolle der Weiterverbreitung übertragbarer Krankheiten durch Wasser für den menschlichen Gebrauch: Massnahmenplane und Storfalmanagement [Structural requirements and provisions to control the spread of infectious diseases via water intended for human consumption: action plans and hazard management]. In: Grohmann A et al. *Die Trinkwasserverordnung: Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden [The Drinking-Water Ordinance: Introduction and Commentary for Water Supply Companies and Surveillance Authorities]*. Berlin, Erich Schmidt Verlag: 149–179.

Falconer IR (1989). Effects on human health of some toxic cyanobacteria (blue-green algae) in reservoirs, lakes and rivers. *Toxicity Assessment*, 4:175–184.

Falconer IR (1994). Health problems from exposure to cyanobacteria and proposed safety guidelines for drinking and recreational water. In: Codd GA et al., eds. *Detection Methods for Cyanobacterial Toxins*. London, Royal Society of Chemistry: 3–10.

Fawell JK (1993). *Toxins from blue-green algae: toxicological assessment of microcystin-LR. Volume 4. Microcystin-LR: 13 week oral (gavage) toxicity study in the mouse (final report)*. Medmenham, Water Research Centre.

Fawell JK, James CP, James HA (1994). *Toxins from blue-green algae: toxicological assessment of microcystin-LR and a method for its determination in water*. Marlow, Foundation of Water Research (Report No. FR 0359/2/DoE 3358/2).

Fawell JK et al. (1999). The toxicity of cyanobacterial toxins in the mouse: II Anatoxin-a. *Human & Experimental Toxicology*, 18:168–173.

Feuerpfeil I, Vobach V, Schulze E (1997). Campylobacter und Yersinia-Vorkommen im Rohwasser und Verhalten in der Trinkwasseraufbereitung. In: *Vorkommen und Verhalten von Mikroorganismen und Viren im Trinkwasser*. Bonn, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches: 63–89 (Schriftenreihe Wasser, No. 91).

Feinstone SM, Gust ID (2000). Hepatitis A virus. In: Mandell GL et al. *Principles and Practice of Infectious Diseases*. New York, NY, Churchill Livingstone: 1920–1940.

Fewtrell L et al. (2005). Water, sanitation and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infectious Diseases*, 5(1):42–52.

Fleming LE et al. (2001) Blue-green algal (cyanobacterial) toxins, surface drinking water, and liver cancer in Florida. *Harmful Algae*, 1(2):157–168.

Fleming LE et al. (2002). *Blue-green algal exposure, drinking water and colorectal cancer study. Final report*. St. Petersburg, FL, The Florida Harmful Algal Bloom Taskforce.

FOCUS (2000). *Groundwater scenarios in the EU review of active substances*. Brussels: Report of the FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their USe (FOCUS) Groundwater Scenarios Workgroup (Sanco/321/2000 rev.2).

Fränkel C (1887). Untersuchungen uber das Vorkommen von Mikroorganismen in verschiedenen Bodenschichten [Studies on the occurrence of microorganisms in different soil layers]. *Medical Microbiology and Immunology*, 2(1):521–582.

Fromme H et al. (2000). Occurrence of cyanobacterial toxins – microcystins and anatoxin-a – in Berlin water bodies with implications to human health and regulation. *Environmental Toxicology*, 15:120–130.

Frost FJ, Craun GF, Calderon RL. (1996) Waterborne disease surveillance. *Journal of the American Water Works Association*, 88:66–75.

Funari E, Testai E (2008). Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure. *Critical Reviews in Toxicology*, 38(2):97–125.

Funari E et al. (1995). Pesticide levels in groundwater: value and limitations of monitoring. In: Vighi M, Funari E. *Pesticide Risk in Groundwater*. Boca Raton, FL, Lewis Publishers.

Funari E et al. (1998). Comparison of the leaching properties of alachlor, metolachlor, triazines and some their metabolites in an experimental field. *Chemosphere*, 36:1759–1773.

Garmouna M et al. (1997). Seasonal transport of herbicides (triazines and phenylureas) in a small stream draining an agricultural basin: Mèlarchez (France). *Weed Research*, 31:1489–1503.

Gibson CJ, Haas CN, Rose, JB (1998). Risk assessment of waterborne protozoa: current status and future trends. *Parasitology*, 117:205–212.

Giuliano G (1995). Groundwater vulnerability to pesticides: an overview of approaches. In: Funari E. *Pesticide Risk in Groundwater*. Boca Raton, FL, Lewis Publishers.

Gleeson C, Gray N (1997). *The coliform index and waterborne disease – Problems of microbial drinking-water assessment*. Dublin, E & FN Spon.

Gordis L (2000). *Epidemiology*, 2nd ed. Philadelphia, PA, WB Saunders Company.

Gornik V et al. (2001). Erster Giardiasisausbruch im Zusammenhang mit kontaminiertem Trinkwasser in Deutschland [First giardiasis outbreak related to contaminated drinking water in Germany]. *Bundesgesundheitsblatt*, 44:351–357.

Gray NF (1994). *Drinking-water quality. Problems and solutions*. Chichester, John Wiley & Sons.

Gustafson DI (1989). Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 8:339–357.

Guillot E, Loret J-F (2010). *Waterborne pathogens: Review for the drinking-water industry*. London, International Water Association.

Haas CN, Rose JB, Gerba CP (1999). *Quantitative microbial risk assessment*. New York, NY, Wiley & Sons.

Hawkins PR, Griffiths DJ (1993). Artificial destratification of a small tropical reservoir: effects upon the phytoplankton. *Hydrobiologia*, 254:169–181.

Howe AD et al. (2002). Cryptosporidium oocysts in a water supply associated with a cryptosporidiosis outbreak. *Emerging Infectious Diseases*, 8(6):619–624.

Humpage AR, Falconer IR (2003). Oral toxicity of the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin in male Swiss Albino mice: determination of no observed adverse effect level for deriving a drinking-water guideline value. *Environmental Toxicology*, 18:94–103.

Hunter PR (1997). *Waterborne disease. Epidemiology and ecology*. Chichester, Wiley & Sons.

Hunter PR (2003). Principles and components of surveillance systems. In: Hunter PR, Waite M, Ronchi E, eds. *Drinking water and infectious disease: establishing the links*. Boca Raton, FL & London, CRC Press & International Water Association: 3–11.

Hunter PR, Quigley C (1998). Investigation of an outbreak of cryptosporidiosis associated with treated surface water finds limits to the value of case control studies. *Communicable Disease and Public Health*, 1(4):234–238.

Hunter PR, Syed Q (2001). Community surveys of self-reported diarrhoea can dramatically overestimate the size of outbreaks of waterborne cryptosporidiosis. *Water Science and Technology*, 43:27–30.

Hunter PR, Waite M, Ronchi E, eds. (2003). *Drinking-water and infectious diseases. Establishing the links*. Boca Raton, FL & London, CRC Press & International Water Association.

IARC (2006). *Cyanobacterial peptide toxins*. Lyon, International Association for Research on Cancer (<http://monographs.iarc.fr/ENG/Meetings/94-cyanobacterial.pdf>, accessed 22 February 2008).

Ibelings BW, Chorus I (2007). Accumulation of cyanobacterial toxins in freshwater ‘seafood’ and its consequences for public health: a review. *Environmental Pollution*, 150:177–192.

Isenbarger DW et al. (2001). Prospective study of the incidence of diarrhoea and prevalence of bacterial pathogens in a cohort of Vietnamese children along the Red River. *Epidemiology and Infection*, 127(2):229–216.

Jochimsen EM et al. (1998). Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. *New England Journal of Medicine*, 338:873–878.

Jones GJ, Orr PT (1994). Release and degradation of microcystin following algicide treatment of a *Microcystis aeruginosa* bloom in a recreational lake, as determined by HPLC and protein phosphatase inhibition assay. *Water Research*, 28:871–876.

Juranek DD et al. (1995). Cryptosporidiosis and public health: workshop report. *Journal of the American Water Works Association*, 87(9):69–80.

Karanis P, Seitz HM (1996). Vorkommen und Verbreitung von Giardia und Cryptosporidium im Roh- und Trinkwasser von Oberflächenwasserwerken. *GWF-Wasser/Abwasser*, 137(2):94–99.

Kay D, Dufour A (2000). Epidemiology. In: Bartram J, Rees G, eds. *Monitoring Bathing Waters*. Chichester, E & FN Spon.

King CH (2000). Cestodes (Tapeworms). In: Mandell GL et al. *Principles and Practice of Infectious Diseases*. Philadelphia, PA, Churchill Livingstone: 2956–2965.

Kistemann T, Exner M (2000). Bedrohung durch Infektionskrankheiten? Risikoeinschaetzung und Kontrollstrategien. *Deutsches Ärzteblatt*, 79(5):251–255.

Kistemann T, Classen T, Exner M (2003). Epidemiologisch bestaetigt: Der erste Giardiasis-Ausbruch durch Trinkwasser in Deutschland. *Bbr-Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau*, 7:40–46.

Kistemann T et al. (1998). Mikrobielle Belastung von Trinkwassertalsperrenzulaufen in Abhängigkeit vom Einzugsgebiet. *GWF-Wasser/Abwasser (Special Talsperren)*, 139 (15):17–21.

Kistemann T et al. (2001a). A geographical information system (GIS) as a tool for microbial risk assessment in catchment areas of drinking-water reservoirs. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 203(3):225–33.

Kistemann T et al. (2001b). GIS-based analysis of drinking-water supply structures: a module for microbial risk assessment. *International Journal of Environmental Health*, 203(3):301–310.

Kistemann T et al. (2002). Microbial load of drinking-water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(5):2188–2197.

Klaucke D (1992). Evaluating public health surveillance systems. In: Halperin W, Baker EL, Monson RR, eds. *Public Health Surveillance*. New York, NY, Van Nostrand Reinhold: 26–41.

Koch R (1893). Wasserfiltration und Cholera. *Medical Microbiology and Immunology*, 14:393–426.

Kosek M, Bern C and Guerrant RL (2003). The global burden of diarrhoeal disease, as estimated from studies between 1992 and 2000. *Bulletin of the World Health Organization*, 81(3):197–204.

Kramer MH et al. (2001). Waterborne diseases in Europe – 1986–1996. *Journal of the American Water Works Association*, 93:48–53.

Kreuger J (1998). Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990–1996. *Science of the Total Environment*, 216:227–233.

Lapworth DJ, Gooddy DC (2006). Source and persistence of pesticides in a semi-confined chalk aquifer of southeast England. *Environmental Pollution*, 144:1031–1044.

Last JM (2001). *A dictionary of epidemiology*. New York, NY, Oxford University Press.

LeChevallier MW, Kuok-Keung Au (2004). *Water treatment and pathogen control-process efficiency in achieving safe drinking-water*. Geneva, World Health Organization and International Water Association Publishing.

Lobner D et al. (2007). β -N-methylamino-L-alanine enhances neurotoxicity through multiple mechanisms. *Neurobiology of Disease*, 25:360–366.

Lund V (1996). Evaluation of *E. coli* as an indicator for the presence of campylobacter jejuni and Yersinia enterocolitica in chlorinated and untreated oligotrophic lake water. *Water Research*, 30(6):1528–1534.

MacKenzie W et al. (1994). A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. *New England Journal of Medicine*, 331:161–167.

Mahmoud AAF (2000a). Intestinal Nematodes (Roundworms). In: Mandell GL et al. *Principles and practice of infectious diseases*. Philadelphia, PA, Churchill Livingstone: 2938–2943.

Mahmoud AAF (2000b). Introduction to helminth infections. In: Mandell GL et al. *Principles and practice of infectious diseases*. Philadelphia, PA, Churchill Livingstone: 2937–2938.

Mahmoud AAF (2000c). Trematodes (Schistosomiasis) and other flukes. In: Mandell GL et al. *Principles and practice of infectious diseases*. Philadelphia, PA, Churchill Livingstone: 2950–2956.

Mara D, Cairncross S (1989). *Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture*. Geneva, World Health Organization.

Mead PS, Griffin PM (1998). *Escherichia coli* O157:H7. *Lancet*, 352(9135):1207–1212.

Medema GJ et al. (1996). Assessment of the dose–response relationship of *Campylobacter jejuni*. *International Journal of Food Microbiology*, 30(1–2):101–111.

Miller G (2006). Guam’s deadly stalker: on the loose worldwide? *Science*, 313:428–431.

Miller SI, Pegues DA (2000). *Salmonella* species, including *Salmonella typhi*. In: Mandell GL et al. *Principles and Practice of Infectious Diseases*. Philadelphia, Churchill Livingstone: 2344–2363.

Moore DA, Carpenter TE (1999). Spatial analytical methods and geographic information systems: use in health research and epidemiology. *Epidemiologic Reviews*, 21(2):143–161.

Munger R et al. (1997). Intrauterine growth retardation in Iowa communities with herbicide-contaminated drinking-water supplies. *Environmental health perspectives*, 105(3):308–314.

NHMRC (2001) *Australian drinking-water guidelines*. Canberra, ACT, National Health and Medical Research Council and the Agricultural Resource and Management Council of Australia and New Zealand.

NAS (1992). *Emerging infections: microbial threats to health in the United States*. Washington, DC, National Academy Press.

Nguyen TM et al. (2006). A community-wide outbreak of Legionnaires’ disease linked to industrial cooling towers – how far can contaminated aerosols spread? *Journal of Infectious Diseases*, 193(1):102–111.

Ong C et al. (1996) Studies of *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. in two adjacent watersheds. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(8):2798–2805.

Orr PT, Jones GJ, Hamilton GR (2004) Removal of saxitoxins from drinking-water by granular activated carbon, ozone and hydrogen peroxide-implications for compliance with Australian drinking-water guidelines. *Water Research*, 38:4455–4461.

Pacini F (1854). Osservazioni microscopiche e deduzioni patologiche sul cholera asiatico [Microscopic observations and pathological deductions concerning Asian cholera]. *Gazette Medica de Italiana Toscana Firenze*, 6:405–412.

Papadopolou-Mourkidou E. et al. (2004). The potential of pesticides to contaminate the groundwater resources of the Axion river basin in Macedonia, Northern Greece. Part I. Monitoring study in the north part of the basin. *Science of the Total Environment*, 321:127–146.

Payment P et al. (2000). Occurrence of pathogenic microorganisms in the Saint Lawrence River (Canada) and comparison of health risks for populations using it as their source of drinking water. *Canadian Journal of Microbiology*, 46(6):565–576.

Pruss A et al. (2002). Estimating the burden of disease from water, sanitation, and hygiene at a global level. *Environmental Health Perspectives*, 110:537–542.

Quigley C, Hunter PR (2003). A systems approach to the investigation and control of water-borne outbreaks. In: Hunter PR, Waite M, Ronchi E, eds. *Drinking water and infectious disease: establishing the links*. Boca Raton, FL & London, CRC Press & International Water Association: 53–65.

Quigley C, Gibson JJ, Hunter PR (2003). Local surveillance systems. In: Hunter PR, Waite M, Ronchi E, eds. *Drinking water and infectious disease: establishing the links*. Boca Raton, FL & London, CRC Press & International Water Association pp. 3–11.

Robertson LJ, Gierde B (2001). Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in raw waters in Norway. *Scandinavian Journal of Public Health*, 29:200–207.

Rose JB, Huffman DE, Gennaccaro A (2002). Risk and control of waterborne cryptosporidiosis. *FEMS Microbiology Reviews*, 26(2):113–123.

Rücker J et al. (2007). Concentrations of particulate and dissolved cylindrospermopsin in 21 Aphanizomenon – dominated temperate lakes. *Toxicon*, 50:800–809.

Sacks JJ et al. (1986). Epidemic campylobacteriosis associated with a community water supply. *American Journal of Public Health*, 76:424–428.

Sartz L et al. (2007). An outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infection in southern Sweden associated with consumption of fermented sausage; aspects of sausage production that increase the risk of contamination. *Epidemiology and Infection*, 136(3):370–380.

Schoenen D (1996). Die hygienisch-mikrobiologische Beurteilung von Trinkwasser. *GWF-Wasser/Abwasser*, 137(2):72–82.

Scribner EA, Thurman EM, Zimmerman LR (2000). Analysis of selected herbicides metabolites in surface and ground water of the United States. *Science of the Total Environment*, 248:157–167.

Semenza JC et al. (1998). Water distribution system and diarrhoeal disease transmission: a case study in Uzbekistan. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 59:941–946.

Senseman SA, Lavy TL, Daniel TC (1997). Monitoring groundwater for pesticides at selected mixing/loading sites in Arkansas. *Environmental Science and Technology*, 31:283–288.

Singh BK, Walker A, Wright DJ (2002). Degradation of chlorpyrifos, fenamiphos, and chlorothalonil alone and in combination and their effects on soil microbial activity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21:2600–2605.

Sivonen K, Jones G (1999). Cyanobacterial toxins. In: Chorus I, Bartram J, eds. *Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. London, E and FN Spon: 41–111.

Snow J (1854). The cholera near Golden-square, and at Deptford. *Medical Times and Gazette*, 9:321–322.

Sönderström A et al. (2005). EHEC O157 outbreak in Sweden from locally produced lettuce, August–September 2005. *Eurosurveillance*, 10(9):E050922.

Squillace PJ et al. (2002). VOCs, pesticides, nitrate, and their mixtures in groundwater used for drinking-water in the United States. *Environmental Science and Technology*, 36:1923–1930.

Spliid NH, Koppen B (1998). Occurrence of pesticides in Danish shallow ground water. *Chemosphere*, 37:1307–1311.

- States S et al. (1997). Protozoa in river water: sources, occurrence, and treatment. *Journal of the American Water Works Association*, 89(9):74–83.
- Steiner TS, Thielman NM, Guerrant RL (1997). Protozoal agents: what are the dangers for the public water supply? *Annual Review of Medicine*, 48:329–340.
- Steinert M, Hentschel U, Hacker J (2002). Legionella pneumophila: an aquatic microbe goes astray. *FEMS Microbiology Reviews*, 26(2):149–162.
- Szewzyk U et al. (2000). Microbiological safety of drinking water. *Annual Review of Microbiology*, 54:81–127.
- Teixeira M da G et al (1993). Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica Dam, Bahia, Brazil. *Bulletin of the Pan American Health Organization*, 27(3):244–253.
- Teunis PF et al. (1997). Assessment of the risk of infections by Cryptosporidium or Giardia in drinking water from a surface water source. *Water Research*, 31(6):1333–1346.
- Thofern E (1990). *Die Entwicklung der Wasserversorgung unter der Trinkwasserhygiene in europäische Städten vom 16. jahrhundert bis heute, unter besonderer Berücksichtigung der Bochumer Verhältnisse*. Bochum, Wasserbeschaffung Mittlere Ruhr GmbH.
- Thurman EM et al. (1998). *Occurrence of cotton pesticides in surface water of the Mississippi embayment*. Renton, VA, United States Geological Survey (USGS Fact Sheet FS-022–98).
- Tillett HE, de Louvois J, Wall PG (1998). Surveillance of outbreaks of waterborne infectious disease: categorizing levels of evidence. *Epidemiology and Infection*, 120(1):37–42.
- Trevett AF, Carter RC, Tyrrel SF (2005). The importance of domestic water-quality management in the context of faecal-oral disease transmission. *Journal of Water and Health*, 3(3):259–270.
- Turner PC et al. (1990). Pneumonia associated with contact with cyanobacteria. *British Medical Journal*, 300:1440–1441.
- Turusov V, Rakitsky V, Tomatis L (2002). Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): ubiquity, persistence, and risks. *Environmental Health Perspectives*, 110(2):125–128.
- Tuxen N et al. (2000). Fate of seven pesticides in an aerobic aquifer studied in column experiments. *Chemosphere*, 41:1485–1494.
- Ueno Y et al. (1996). Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. *Carcinogenesis*, 17:1317–1321.
- Van Apeldoorn ME et al. (2007). Toxins of cyanobacteria. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51:7–60.
- Van der Kooij (2003). Managing regrowth in drinking-water systems. In: Bartram J et al., eds. *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety*. London, International Water Association.
- Van Maanen JMS et al. (2001). Pesticides and nitrate in groundwater and rainwater in the province of Limburg in the Netherlands. *Environ Monitoring and Assessment*, 72:95–114.
- Vogt RL et al. (1983). Comparison of an active and passive surveillance system of primary care providers for hepatitis, measles, rubella, and salmonellosis in Vermont. *American Journal of Public Health*, 73(7):795–797.

White ME, McDonnell SM (2000). Public health surveillance in low- and middle-income countries. In: Teutsch SM, Churchill RE, eds. *Principles and Practice of Public Health Surveillance*. Oxford & New York, Oxford University Press: 287–315.

White ME et al. (2001). Partnerships in international applied epidemiology training and service, 1975–2001. *American Journal of Epidemiology*, 154(11):993–999.

WHO (1999). Geographical information systems (GIS). Mapping for epidemiological surveillance. *Weekly Epidemiological Record*, 74(34):281–285.

WHO (2003). *Guidelines for safe recreational-water environments – Volume 1: Coastal and fresh-waters*. Geneva, World Health Organization.

WHO (2004). *Guidelines for drinking-water quality. Third edition. Volume 1: Recommendations*. Geneva, World Health Organization.

WHO (2006). *Guidelines for drinking-water quality. Volume 1: Recommendations. First addendum to the third edition*. Geneva, World Health Organization (на русском языке: Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Третье издание. Том 1: Рекомендации. — Женева, Всемирная организация здравоохранения, 2006 г.).

WHO (2007). *Chemical safety of drinking-water – assessing priorities for risk management*. Geneva, World Health Organization.

WHO (2008). *Guidelines for drinking-water quality. Third edition, incorporating the first and second addenda. Volume 1: Recommendations*. Geneva, World Health Organization.

WHO (2009). *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. Geneva, World Health Organization.

WHO Regional Office for Europe (2010). European health for all database [online database]. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe (<http://www.euro.who.int/hfadbf>, accessed 9 August 2010).

WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (2000). *Global water supply and sanitation assessment report*. Geneva, World Health Organization (http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf, accessed 5 August 2010).

Worrall F, Kolpin DW (2004). Aquifer vulnerability to pesticide pollution-combining soil; land-use and aquifer properties with molecular descriptors. *Journal of Hydrology*, 293:191–204.

Wright JA et al. (2006). Defining episodes of diarrhoea: results from a three-country study in subSaharan Africa. *Journal of Health, Population, and Nutrition*, 24(1):8–16.

Younes M, Galal-Gorchev H (2000). Pesticides in drinking water – a case study. *Food and Chemical Toxicology*, 38:87–90.

Yu VL (2000). *Legionella pneumophila* (legionnaires' disease). In: Mandell GL et al. *Principles and Practice of Infectious Diseases*. New York, NY, Livingstone: 2424–2435.

Zeger SL, Liang KY (1986). Longitudinal data analysis for discrete and continuous outcomes. *Biometrics*, 42(1):121–130.

Zielberg B (1996). Gastroenteritis in Salisbury European children – a five year study. *Central African Journal of Medicine*, 12:164–168.

Европейское региональное бюро ВОЗ

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) – специализированное учреждение Организации Объединенных Наций, созданное в 1948 г. и основная функция которого состоит в решении международных проблем здравоохранения и охраны здоровья населения. Европейское региональное бюро ВОЗ является одним из шести региональных бюро в различных частях земного шара, каждое из которых имеет свою собственную программу деятельности, направленную на решение конкретных проблем здравоохранения обслуживаемых ими стран.

Государства-члены ЕРБ ВОЗ

Австрия
Азербайджан
Албания
Андорра
Армения
Беларусь
Бельгия
Болгария
Босния и Герцеговина
Бывшая югославская Республика Македония
Венгрия
Германия
Греция
Грузия
Дания
Израиль
Ирландия
Исландия
Испания
Италия
Казахстан
Кипр
Кыргызстан
Латвия
Литва
Люксембург
Мальта
Монако
Нидерланды
Норвегия
Польша
Португалия
Республика Молдова
Российская Федерация
Румыния
Сан-Марино
Сербия
Словакия
Словения
Соединенное Королевство
Таджикистан
Туркменистан
Турция
Узбекистан
Украина
Финляндия
Франция
Хорватия
Черногория
Чешская Республика
Швейцария
Швеция
Эстония

ISBN 978 92 890 0256 1



9 789289 002561

Всемирная организация здравоохранения Европейское региональное бюро

Scherffsvej 8, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark

Тел.: +45 39 17 17 17. Факс: +45 39 17 18 18. Эл. адрес: contact@euro.who.int

Веб-сайт: www.euro.who.int

Фотография на обложке: iStockphoto