

Барьерная роль водопроводных станций в условиях повышенного загрязнения водоисточников

Б. М. Долгонос, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института водных проблем Российской академии наук

В последнее время химическое загрязнение окружающей среды приобретает глобальный характер. В водную среду попадают не только вредные ингредиенты промышленных и бытовых сточных вод, но и поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий, промплощадок и селитебных территорий. Большую роль играют также аэротехногенные загрязнения, переносимые с воздушными массами на большие расстояния. Антропогенное преобразование естественных ландшафтов (распашка лугов, вырубка леса, застройка территории, особенно водоохранных зон, и т.д.) приводит к увеличению выноса химических соединений с поверхности водосбора и усилению загрязнения водных объектов. Интенсивному загрязнению подвергаются и водные объекты, используемые для целей водоснабжения. Химическое и микробиологическое загрязнение воды значительно ухудшает санитарноэпидемиологическую обстановку. В таких условиях безопасность использования воды населением зависит от способности властей предотвратить загрязнение водоисточников и от возможностей современной технологии получения питьевой воды. Согласно гигиеническим нормативам, питьевая вода, подаваемая населению, должна быть безопасной в эпидемическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Рассмотрим факторы риска качества воды в водоисточниках и возможности технологии водоподготовки.

Рисунок 1. Факторы риска ухудшения качества воды

Природные экстремальные события	Хронические антропогенные загрязнения	Природные и социальные катастрофы	Техногенные катастрофы
Половодья, паводки, сгоннонагонные явления, дожди, ветровое перемешивание, разрушение термоклина, цветение фитопланктона, нарушение кислородного режима, выход загрязнений из донных отложений	Патогенные микроорганизмы, биогены, СПАВ, тяжелые металлы, радионуклиды, ядохимикаты, диоксины, фенолы, нефтепродукты, специфические промышленные загрязнения, застройка водоохранных зон	Наводнения, ураганы, землетрясения, пожары (лесные, степные, торфяные), эпидемии и эпизоотии, массовые беспорядки, террористические акты, военные действия	Пожары на жилых и производственных объектах, на транспорте. Аварии на производстве, на транспорте, на нефте- и газопроводах, на очистных сооружениях. Нелегальные сбросы загрязняющих веществ

ФАКТОРЫ РИСКА

Угрозы источникам водоснабжения исходят от событий естественного и техногенного характера, среди которых природные экстремальные события, хроническое загрязнение водоисточников, природные, социальные и техногенные катастрофы (рис. 1).

Рассмотрим некоторые факторы, способствующие ухудшению качества воды.

Поверхностный сток. Сток с сельскохозяйственных ландшафтов опасен из-за выноса удобрений и пестицидов в водные объекты. Сток с городских территорий и промплощадок содержит большое количество нефтепродуктов и тяжелых металлов; в нем также присутствует широкий спектр возбудителей инфекционных заболеваний.

Половодья, дождевые паводки, ураганы опасны не только в связи со смывом загрязнений с ландшафтов (дождевые паводки) или ингредиентов, накопленных в снежном покрове за зимний период и поступающих в воду при его таянии (половодья), но и вследствие размывания (ураганы) и переноса донных осадков, аккумулировавших большое количество вредных веществ.

Наводнения представляют значительную опасность в связи с затоплением канализации, кладбищ, складов химических веществ (удобрений, пестицидов, реагентов и т.д.). В воду обычно попадают возбудители различных инфекционных заболеваний, в связи с чем велика опасность эпидемий.

Аварийные или несанкционированные сбросы загрязненных сточных вод в зависимости от их объема и состава могут представлять чрезвычайную опасность для водоисточников. Для конкретной оценки риска сбросов загрязненных сточных вод необходимо иметь информацию о предприятиях, расположенных на территории водосбора, о характере производства на них, составе сточных вод, вероятности аварий.

Террористические акты. Опасны не только те из них, которые направлены непосредственно на поражение комплекса водоснабжения, но, главным образом, теракты против крупных производств, результатом которых может быть попадание в воду больших количеств токсичных веществ.

Накопление устойчивых токсикантов. Как выяснилось в последнее время, диоксины и фураны (ПХДД/Ф) являются супертоксикантами вследствие миграции по трофической цепи, накопления в живых организмах и разрушающего влияния на их геномы [Федоров, 1993; Порядин, 1997; Майстренко, 1997]. Источниками соединений этого класса являются предприятия химической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, строительной промышленности и вообще производства, использующие высокотемпературные процессы в присутствии углеродсодержащих соединений, в том числе металлургия, переработка мусора и других отходов.

Среднегодовой выброс диоксинов и фуранов в РФ за 1998–2000 гг. составил, по разным оценкам, от 7 до 11 кг диоксинового эквивалента в год [Путилина, Онищенко, 2003], что оценивается как серьезное загрязнение окружающей среды, имея в виду пространственную неоднородность выбросов, их сосредоточенность в промышленных центрах. Так, по данным [Абдрахманов, 1997], на территории Уфы концентрация диоксинов в подземных водах на 2-3 порядка превышает питьевые ПДК, принятые в России, – 20 пкг/л (для сравнения, в Германии ПДК на питьевую воду в 2000 раз меньше – 0,01 пкг/л).

С течением времени появляются всё новые виды загрязняющих веществ, что обусловлено несколькими причинами:

- 1) разработка новых промышленных и сельскохозяйственных технологий с новым набором применяемых веществ, которые попадают в водные объекты со сточными водами и поверхностным стоком (табл. 1);
- 2) развитие санитарно-гигиенических исследований, в результате которых повышается класс опасности тех соединений, которые ранее считались менее опасными; наряду с этим, разрабатываются новые методики выявления приоритетных показателей загрязнения водной среды (табл. 2) [Егорова, 2003];
- 3) развитие методов аналитической химии, позволяющих расширить спектр определяемых соединений или увеличить точность их определения, в том числе и для тех соединений, которые ранее присутствовали в природных водах в концентрациях ниже прежнего порога определения.

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В связи с повышением уровня загрязнения и пополнением списка поллютантов растут и возможности современной технологии обработки природных вод, направленные на устранение все новых загрязняющих веществ, среди которых патогенные микроорганизмы, всевозможные органические соединения, тяжелые металлы и радионуклиды, биогенные элементы и т.д.

Патогенные микроорганизмы

Снижение концентрации патогенных микроорганизмов достигается различными методами, среди которых следует отметить коагуляционную обработку воды, хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение (рис. 2). На рисунке представлены методы снижения микробного загрязнения, которое вызывается патогенными микроорганизмами и их спорами, а также вирусами и цистами простейших. Эти методы можно разделить на три группы: удаление, дезинфекция и долговременная консервация. Удаление осуществляется коагуляционной обработкой воды и мембранной фильтрацией. Дезинфекция производится с применением жидкого хлора или реагентов на основе хлора, озона и ультрафиолетового облучения. Наконец, долговременная консервация воды осуществляется путем совместного применения хлора и аммиака с образованием хлораминов, которые обладают хотя и слабым, но длительным бактерицидным действием.

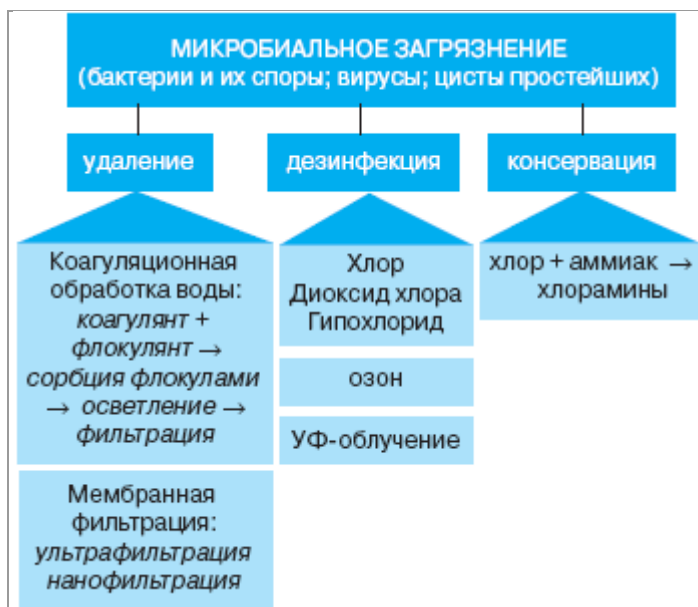


Рисунок 2.

Методы снижения микробного загрязнения

Коагуляционная обработка, подразумевающая смешение воды с коагулянтом и флокулянтом с последующим хлопьеобразованием, отстаиванием и фильтрованием, позволяет снизить концентрацию простейших на 2–3 порядка, бактерий и вирусов на 1–2 порядка [Гончарук, Потапченко, 1998; Methods..., 1990]. При этом удаляются микроорганизмы, находящиеся внутри и на поверхности частиц, труднодоступные при обеззараживании дезинфектантами. Патогенные микроорганизмы обычно адсорбированы на частицах взвеси. Поэтому, если не применяется специальное обеззараживание воды (например, УФ-облучение), мутность должна быть снижена до величины, достаточной для поддержания санитарной безопасности. Практика работы водопроводных станций показывает, что надежная защита от патогенных микроорганизмов достигается снижением мутности до 0,1–0,5 мг/л, т.е. в несколько раз меньше нормативного предела 1,5 мг/л. Необходимое снижение мутности воды достигается коагуляционной обработкой. Повышенная мутность исходной воды, которая наблюдается в период паводка, требует применения высоких доз коагулянта (до 15 мг/л по Al_2O_3) в комбинации с флокулянтом (дозы до 0,1–0,2 мг/л).

Однако при этом возникает риск превышения нормативного предела по остаточному алюминию 0,5 мг/л. В этом случае необходимо привлекать дополнительные методы обеззараживания: хлорировать более высокими дозами, использовать озонирование или УФ-облучение, а удаление побочных продуктов обработки (хлорорганических соединений – при хлорировании, альдегидов, кетонов и т.п. – при озонировании) осуществлять с применением сорбционных фильтров.

Хлорирование осуществляется обычно в две стадии: 1) предварительное хлорирование, при котором обработке подвергается исходная вода; 2) вторичное хлорирование с аммонизацией для придания очищенной воде консервирующих свойств при движении по распределительной сети. Основная цель предварительного хлорирования – обеззараживание воды. Для этого обычно используются дозы хлора в диапазоне 2–4 мг/л. Кроме обеззараживания, достигается удаление фитопланктона, коррекция вкуса и запаха, окисление органических и неорганических веществ. В соответствии с нормативными требованиями должно быть обеспечено полное удаление патогенных микроорганизмов и снижение концентрации индикаторных микроорганизмов до нормативного предела. Обеззараживающее действие хлора на микроорганизмы уменьшается на несколько порядков в ряду «бактерии – споры бактерий – вирусы – цисты простейших». Последние являются наиболее стойкими микроорганизмами, поэтому дозы хлора или других обеззараживающих реагентов должны рассчитываться по ним.

Таблица 1

Основные показатели загрязнения вод источниками разного генезиса (по Егоровой, 2003 с изменениями)

Источник загрязнения	Основные показатели загрязнения
Целлюлозно-бумажная промышленность (Егорова, 2003)	Запах, цветность, пенообразование, взвешенные вещества, ртуть, сульфиды, БПК, ХПК, лигнины, фенолы, формальдегид, метанол, скипидар, диметилсульфид, диметилдисульфид
Нефтяная промышленность (Егорова, 2003)	Запах, нефтепродукты, БПК, ХПК, СПАВ, взвешенные вещества, аммонийный азот, сульфиды, фенолы, хлориды
Газодобывающие предприятия (Иванник и др., 1989)	Нефтепродукты, метанол, диэтиленгликоль, СПАВ, фенолы, аммонийный азот, нитраты, сульфаты, взвешенные вещества
Цветная металлургия (Егорова, 2003)	Металлы, фтор, мышьяк, аммонийный азот, роданиды, цианиды, взвешенные вещества, флотореагенты, сульфиты, хлориды
Кожевенная промышленность (Егорова, 2003)	Хром, фенолы, запах, окраска, БПК, ХПК, аммонийный азот, дихлорбензол, хлориды, сульфаты
Производство красителей (Егорова, 2003)	Окраска, хром, БПК, ХПК, запах, пенообразование
Производство синтетических волокон (Плитман, 1991)	Анизол, адипонитрил, бензол, метанол, винилацетат, тетрахлоруглерод, формальдегид, циклогексан, циклогексаноноксим, циклогексен, циклогексанол, фенол
Угольная промышленность (Плитман, 1991)	Флотореагенты, фенолы, лутидин, нафтолы, пиридин, ацетонитрил, ксиленолы, смолы, ацетон
Производство синтетического изопренового каучука	Диметилдиоксан, метилбутадиол, диоксанный и пирановый спирты, метилгидропиран, триметил-, этилвинил- и изобутенил-карбинолы

(Топорков, 1993)

Аэротехногенное загрязнение	Оксиды серы, азота и углерода, углеводороды, металлы
Бытовые сточные воды	Бытовые сточные воды
Поверхностный сток сельхозугодий	Азот, фосфор, СПАВ, ГСС, микробиальное загрязнение
	Удобрения, пестициды, фунгициды, инсектициды, органическое вещество, азот, фосфор

БПК – биохимическое потребление кислорода

ХПК – химическое потребление кислорода

СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества

ГСС – галогенсодержащие соединения

Применение высоких доз хлора (более 4 мг/л) для обработки воды, содержащей органические вещества, опасно в связи с образованием целого спектра хлорорганических соединений (ХОС), включая хлороформ, тетрахлорметан, бромдихлорметан, дибромхлорметан [Костюченко и др., 2000а; Романенко и др., 2001]. В табл. 3 приведены способы уменьшения концентрации ХОС. Согласно российскому стандарту, концентрация хлорорганических соединений в питьевой воде не должна превышать 200 мкг/л (для сравнения, в Германии – 10, в США – 80 мкг/л). Образование ХОС в обрабатываемой воде зависит от дозы хлора, содержания органического вещества, аммиака, температуры, pH и времени контакта воды с хлором. При наличии в воде аммиака хлор взаимодействует с ним с образованием хлораминов; при этом взаимодействие с органическим веществом подавлено, и ХОС практически не образуются. Однако хлорамины обладают значительно меньшим бактерицидным действием, чем свободный хлор.

Таблица 2

Критерии приоритетности показателей загрязнения водных объектов

Основные критерии	- Степень повышения ПДК
	- Отдаленные эффекты (канцерогенный, мутагенный, аллергенный и др.)
	- Токсичность (ЛД50, МНК)
	- Стабильность в водной среде (время распада)
	- Способность задерживаться на очистных сооружениях (%)
	- Биоразлагаемость по БПК/ХПК
	- Трансформация в водной среде (продуцирование токсичных соединений)
	- Биоаккумуляция (коэффициент распределения)
	- Образование ГСС при хлорировании
	- Накопление в донных отложениях
Вспомогательные критерии	- Снижение эффективности очистки и обеззараживания воды
	- Перераспределение загрязнений в поверхности воды
	- Повышение выживаемости патогенной микрофлоры
	- Корреляция между загрязнением и выживаемостью
	- Токсичность для дафний

ПДК – предельно допустимая концентрация

ЛД50 – 50%-ная летальная доза

МНК - максимальная недействующая концентрация

Озонирование для обеззараживания воды целесообразно применять только при повышенном загрязнении водоисточника патогенными микроорганизмами, в том числе энтеровирусами и цистами лямблий, которые устойчивы к действию хлора. Поскольку озонирование не обладает необходимым последствием, применение озона не может полностью исключить обеззараживание воды хлором. Ограничение в применении озона связано с образованием побочных продуктов: кетонов, альдегидов, гидроксированных алифатических и ароматических углеводов [Кожин и др., 1997] (табл. 3). Иногда они более токсичны, чем исходные вещества, и плохо удаляются в процессах коагуляционной очистки воды. Наиболее часто в обработанной воде обнаруживаются формальдегид, глиоксаль и метилглиоксаль [Gracia et al., 1995]. Концентрация образующихся побочных продуктов озонлиза пропорциональна дозе озона, поэтому при больших дозах она может превысить нормативный предел, который по формальдегиду составляет 0,05 мг/л. Для удаления побочных продуктов необходимо использовать сорбционную доочистку воды на фильтрах с загрузкой из гранулированного активированного угля [Жуков и др., 2000].

Таблица 3
ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Процесс	Побочные продукты	Снижение концентрации побочных продуктов
Коагуляция солями Al или Fe	Остаточные Al или Fe	Оптимизация доз коагулянта и флокулянта. Коррекция pH
Хлорирование	Тригалометаны; хлорфенолы; галоуксусные кислоты; галогенированные ацетонитраты, альдегиды, кетоны, фураноны	Предварительное удаление органики. Сорбция ПАУ. Фильтры со слоем ГАУ. Уменьшение доз хлора. Отказ от прехлорирования. Использование диоксиды хлора и хлораминов. Использование бытовых фильтров. Кипячение воды не менее 5 мин. Использование УФ-облучения
Озонирования	Бромат, формальдегид, другие альдегиды, кетоны	Предварительное удаление органики. Сорбция ПАУ. Фильтры со слоем ГАУ. Уменьшение доз озона. Использование бытовых фильтров

ПАУ – порошкообразный активированный уголь

ГАУ – гранулированный активированный уголь

Ультрафиолетовое облучение является важным практическим методом обеззараживания воды [Костюченко и др., 2000]. К достоинствам этого метода относятся: 1) отсутствие побочных продуктов обработки; 2) высокая эффективность по отношению к патогенным микроорганизмам разных типов; 3) широкий диапазон качества обрабатываемой воды. Минимально допустимая нормативная доза УФ-облучения в 16 мДж/см² обеспечивает снижение численности патогенных бактерий на 5 порядков, индикаторных бактерий на 2–6 порядков, вирусов на 2–3 порядка. Увеличение дозы до 40 мДж/см² дает снижение вирусов на 4 порядка. Для инактивации цист простейших на 1–4 порядка используют дозу 80 мДж/см². Высокая мутность или цветность обрабатываемой воды приводит к поглощению УФ-излучения и экранированию микроорганизмов, что снижает фактическую

дозу облучения. Практика показывает, что обеззараживание до нормативных пределов достигается и при обработке воды с мутностью до 30 мг/л и цветностью до 50 град. Есть, однако, данные по применению УФ-излучения в период паводка при мутности исходной воды до 145 мг/л и колииндексе до 30 тыс.; при этом достигалось полное отсутствие общих колиформ в 100 мл.

Для задержания патогенных микроорганизмов может также применяться ультрафильтрация [Первов и др., 2002] и другие типы мембранной фильтрации, параметры которой представлены в табл. 4 [Кармазинов, 2003].

Органические соединения

Со сточными водами и поверхностным стоком в водные объекты попадает ряд органических загрязнений, таких как диоксины, фенолы, нефтепродукты, СПАВ, пестициды, амины. Рисунок 3 демонстрирует методы удаления из воды органических веществ различных типов: природных и попадающих с различными сточными водами. Для этой цели используют методы адсорбции, биоутилизации, деструкции, мембранной фильтрации, флотации. Особенно хорошие результаты достигаются с применением адсорбции на активированном угле – порошкообразном или гранулированном. В последнее десятилетие получил практическое применение новый эффективный метод удаления различных примесей, в том числе органических, – мембранная фильтрация, которая существует в трех модификациях в зависимости от размеров пор мембран:

- 1) нанофильтрация, размеры пор менее 0,01 мкм;
- 2) ультрафильтрация, поры до 0,1 мкм;
- 3) микрофильтрация, поры до 1 мкм. Спектр задерживаемых веществ описан в табл. 4.

Таблица 4

Параметры мембранной фильтрации (Кармазинов, 2003)

Методы	Размеры пор, мкм	Рубежная молекулярная масса частиц, а.е.	Тип задерживаемых частиц
Нанофильтрация	0,001–0,01	100–1 000	Молекулы, макромолекулы
Ультрафильтрация	0,01–0,1	1 000–500 000	Макромолекулы, коллоиды
Микрофильтрация	< 0,9	> 500 000	Коллоиды, тонкие дисперсии

Для очистки воды от органических соединений, наряду с коагуляционной обработкой, обычно используют: 1) углевание порошкообразным сорбентом перед стадией коагуляционной обработки; 2) сорбционное фильтрование через слой гранулированного активированного угля после коагуляционной обработки; 3) озонирование на разных стадиях коагуляционной обработки, возможно в комбинации с УФ-обработкой; 4) озонирование с последующим сорбционным фильтрованием [Журба и др., 1997]; 5) ультраи нанофильтрация [Hall, 1997].

Озон эффективно разлагает фенолы до муравьиной и щавелевой кислот и CO₂, нефтепродукты – до легко летучих компонентов. Хорошо разлагаются СПАВ, многие хлори фосфорорганические пестициды [Шевченко, 1989]. Однако продукты реакции некоторых пестицидов с озоном более токсичны, чем исходные соединения. Известно также, что озонирование улучшает такие органолептические показатели, как цветность, вкус, запах (иногда, правда, появляется ароматический запах), в меньшей степени – мутность и перманганатную окисляемость. За счет этого достигается экономия коагулянта до 20–30%.

Разложение органических соединений интенсифицируется при дополнении озонирования УФ-облучением, что на 3–10 порядков увеличивает скорость окисления фенолов, нефтепродуктов, пестицидов [Holdsworth, Shaul, 1992]. Улучшается также окисление СПАВ и цианистых соединений.

Для удаления из воды продуктов озонолиза, а также тех соединений, на которые озон не действует, необходимо использовать сорбционную очистку. Активированный уголь позволяет извлекать из воды формальдегид и другие побочные продукты озонирования.

Сорбционная очистка может использоваться и без предозонирования при удалении ряда органических загрязнений.

Активированный уголь создает надежный барьер от СПАВ, диоксинов, фенолов, нефтепродуктов, хлорорганических веществ, циклических углеводородов и других ксенобиотиков [Зорина, 1998]. Использование порошкообразного угольного сорбента для обработки воды в дозах до 15 мг/л обеспечивает удаление до 95% дии тетраизомеров диоксинов, 70–90% изомеров полихлордибензодиоксинов, 95–99% фенолов, 25–62% летучих галогенорганических соединений [Журба, 2002; Смирнов и др., 2001]. Эффект снижения этих и других соединений по общему органическому углероду составляет 28–56%.

Тяжелые металлы и радионуклиды

Еще одна группа методов используется для удаления опасных элементов, таких как радионуклиды, тяжелые металлы и другие металлы и металлоиды (рис. 4). Можно выделить три формы существования: связанные с органическим веществом, минеральные и ионные. Для их удаления используют коагуляцию, мембранную фильтрацию, окисление, реагентное осаждение, ионный обмен. Способы удаления тяжелых металлов, радионуклидов и других опасных элементов зависят от их химических форм.

Ионы тяжелых металлов удаляются путем ионообменной сорбции на природных и синтетических сорбентах. То же относится к радионуклидам стронция и цезия [Ефимов и др., 2002].

Этот процесс проводится на последних стадиях обработки воды, когда содержание других ингредиентов невелико.

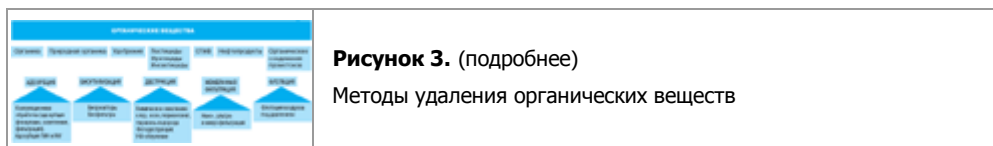
Гидроксиды металлов удаляются в процессе коагуляционной обработки воды. Они хорошо сорбируются на хлопьях коагулянта и выделяются вместе с ними при последующем отстаивании и фильтровании.

Гидролизу солей тяжелых металлов с образованием аморфных частиц гидроксидов способствует аэрация воды [Журба, 2002].

Интенсификация гидролиза наблюдается также при применении озонирования. Воздействие озона на металлы с высоким редокс-потенциалом (Mn, Fe, Co, Pb и др) приводит к образованию аморфных гидроксидов [Журба и др., 1997; Шевченко и др., 1989]. В этом кроется одна из причин, по которой первичное озонирование целесообразно проводить перед коагуляционной обработкой.

Комплексы металлов с органическими лигандами извлекаются частично при коагуляционной обработке воды и, в большей степени, при углевании или на сорбционных фильтрах с загрузкой из гранулированного активированного угля.

Аморфные частицы гидроксидов металлов и комплексы металлов с крупными органическими лигандами могут выделяться при мембранной фильтрации. Об этом можно судить по эффекту снижения концентрации железа (с 2,16 до 0,3 мг/л) при использовании мембран с порами размером менее 0,2 мкм [Первов и др., 2001], что согласно табл. 4 примерно соответствует ультрафильтрации.



Биогенные элементы

Азот и фосфор, входящие в состав органических соединений, удаляются коагуляционной обработкой и применением угольных сорбентов. Неорганический азот снимается в проточных биореакторах, заселенных азотфиксирующими и денитрифицирующими бактериями [Журба и др., 1997].

Ультрафильтрация (размер пор менее 0,2 мкм) убирает нитриты – почти в 2 раза (с 0,20 до 0,12 мг/л), аммонийный азот – более чем в 2 раза (с 0,61 до 0,28 мг/л), фосфаты – примерно в 7 раз (с 0,36 до 0,05 мг/л) [Первов и др., 2001].

Для удаления различных ингредиентов из воды возможно также применение нанофильтрации [Первов и др., 2002]. Уже существует ряд водопроводных станций, использующих мембранную технологию для получения питьевой воды [Ventresque, 2000].

Побочные продукты обработки воды

Как уже отмечалось выше, некоторые методы обработки воды могут привести к образованию опасных побочных продуктов (табл. 3). Так, коагуляция приводит к появлению остаточного алюминия или железа в зависимости от типа применяемого коагулянта. Хлорирование вызывает образование хлороформа и других хлорсодержащих соединений. Озонирование генерирует формальдегид и другие опасные соединения. Методы снижения образования побочных продуктов и их удаления описаны в третьей колонке таблицы. Главные из них – сорбция активированными углями, предварительное (перед хлорированием) удаление органического вещества, например, с помощью коагуляционной обработки, использование УФ-облучения вместо хлорирования, применение бытовых фильтров для коррекции качества водопроводной воды.

Таблица 5
Параметры мембранной фильтрации (Кармазинов, 2003)

Способ обеззараживания	Капитальные затраты	Эксплуатационные затраты	Годовые приведенные затраты
Хлорирование жидким хлором	8,8	1,0	2,0

Озонирование	6,8	3,4	4,2
УФ-облучение	5,4	2,4	3,1

Способы снижения риска

Проведенный выше анализ показывает, что имеется широкий спектр методов обработки для получения воды питьевого качества. Однако на действующих водопроводных станциях применяется довольно ограниченный набор методов, кроме того, существующие для реализации технологические сооружения, реагенты, дозаторы и пр. не всегда способны справиться с нарастающим ухудшением качества воды в водоисточнике.

При наличии реальной угрозы попадания патогенных микроорганизмов в водоисточник надо предусмотреть дополнительные меры по снижению их концентрации и удалению вредных продуктов обработки:

- 1) коагулирование повышенными дозами с добавлением флокулянта для понижения мутности воды до 0,1 мг/л, поскольку частицы мутности являются носителями микроорганизмов;
- 2) хлорирование более высокими дозами;
- 3) УФ-облучение воды для инаktivации патогенных микроорганизмов;
- 4) удаление остаточного алюминия – побочного продукта коагулирования – на фильтрах;
- 5) снижение концентрации хлорорганических соединений на сорбционных фильтрах.

Не все из перечисленных мер надо применять одновременно, их набор и порядок выполнения может варьироваться в зависимости от состава технологических сооружений и качества обрабатываемой воды. Водопроводная станция должна быть заранее подготовлена к таким действиям, т.е. иметь соответствующие сооружения и запас реагентов, а также обеспечить возможность дозирования высоких доз реагентов.



Рисунок 4.

Методы удаления опасных элементов

При угрозе загрязнения водоисточника нефтепродуктами, фенолами, диоксинами и другими органическими ксенобиотиками необходимо предусмотреть использование сорбционных фильтров, возможно с предозонированием.

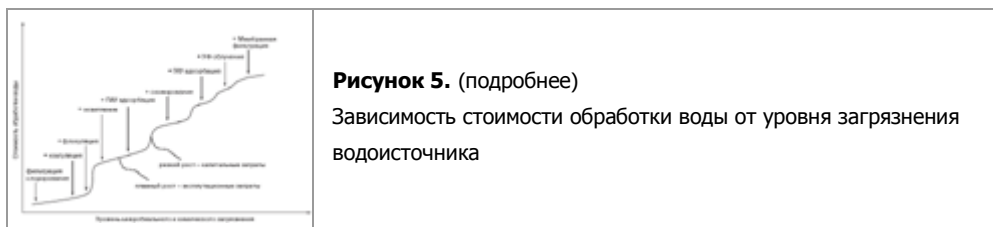
При опасности попадания тяжелых металлов в исходную воду необходимо использовать аэрацию или озонирование для перевода металлов из ионной формы в гидроксидную с последующим удалением в процессе коагуляционной очистки. При наличии органических комплексов металлов надо дополнить технологию углеванием перед фильтрами или стадией доочистки на фильтрах со слоем гранулированного активированного угля.

При строительстве новых станций надо учесть опыт применения ультрафильтрации и нанофильтрации как комплексных методов для удаления примесей различной природы.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

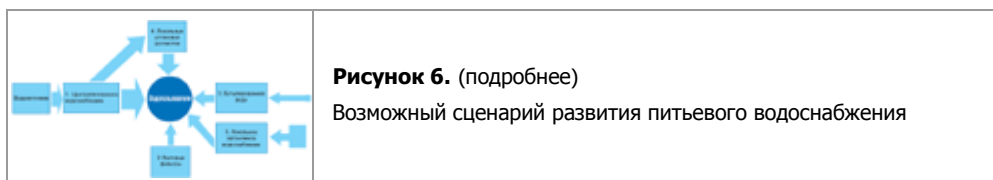
Анализ различных методов обработки показывает, что при ухудшении качества воды в водоисточнике к действующей технологии должны подключаться дополнительные методы. Это удорожает очистку, поскольку связано с крупными капиталовложениями на реконструкцию имеющихся сооружений или строительство новых. К примеру, укрупненные затраты на дезинфекцию воды разными методами показаны в табл. 5. Возрастают также эксплуатационные расходы, обусловленные ростом доз реагентов: коагулянта, флокулянта, озона, активированного угля и др. Наиболее дорого обходится применение активированного угля.

С ростом микробиологического и химического загрязнения водоисточника необходимо вводить в эксплуатацию все новые методы обработки воды, добавляя их к базовому набору, включающему фильтрацию и хлораммонизацию (рис. 5). Затем шаг за шагом добавляются следующие методы обработки воды: коагуляция, флокуляция, отстаивание или осветление во взвешенном слое, адсорбция порошкообразным активированным углем, озонирование, адсорбция при фильтрации через слой гранулированного активированного угля, УФ-облучение и, наконец, мембранная фильтрация. Включение каждого нового метода требует больших капиталовложений, что соответствует резкому подъему кривой стоимости. Рост доз реагентов, необходимый для компенсации ухудшения качества исходной воды, выглядит как постепенный рост кривой стоимости за счет текущих затрат. Рост стоимости получения питьевой воды в конце приводимой кривой по отношению к ее началу может составлять десятки раз.



Удорожание питьевой воды приведет к следующему сценарию развития водоснабжения (рис. 6). По мере ухудшения качества воды в источнике схема водоснабжения будет усложняться:

- 1) при удовлетворительном качестве воды в источнике осуществляется централизованное водоснабжение; риск нарушения нормативов невелик и для питьевых нужд может использоваться непосредственно водопроводная вода;
- 2) при ухудшении качества воды в источнике желательно осуществлять коррекцию водопроводной воды с помощью бытовых фильтров для снижения концентрации побочных продуктов обработки воды;
- 3) наряду с вариантами 1 и 2 используется бутылированная вода высокого качества, которое должно гарантироваться регулярным контролем санитарной службы (для исключения фальсификации);
- 4) при дальнейшем ухудшении качества воды в источнике водопроводные станции в отдельные неблагоприятные периоды не могут справиться с очисткой воды, поэтому, наряду с описанными в пунктах 1–3 возможностями, надо в этих случаях проводить локальную доочистку водопроводной воды, например, с использованием мембранной фильтрации и УФ-облучения;
- 5) для ряда объектов может оказаться целесообразным организовать отдельное водоснабжение из альтернативного источника с использованием автономных очистных сооружений.



Перечисленные мероприятия неизбежно приведут к удорожанию воды питьевого качества, что чревато кризисом централизованного водоснабжения из-за неплатежеспособности населения. Чтобы избежать кризисного развития ситуации необходимо принять неотложные меры по предотвращению дальнейшего загрязнения водоисточников, созданию действенной системы охраны водных ресурсов от загрязнения и улучшению качества воды в них.

ЛИТЕРАТУРА

Абдрахманов Р. Ф. Геохимия и миграционные возможности экотоксикантов в подземных водах урбанизированных территорий // Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охрана окружающей среды. Матер.

Междунар. научно-практ. конф. Пермь: Гос. ун-т, 1997, с. 85-86.

Гончарук В. В., Потапченко Н. Г. Современное состояние проблемы обеззараживания воды // Химия и технология воды, 1998. Т. 20. № 2.

Егорова Н. А. Методические основы гигиенической оценки качества воды // Дис. докт. мед. наук. М., 2003.

- Ефимов К. М., Гембицкий П. А., Никашина В. А. Органоминеральный сорбент ЦЕОПАГ в очистке питьевых и сточных вод // Водоснабжение и сан. техника, № 7, 2002.
- Жуков Н. Н., Драгинский В. Л., Алексеева Л. П. Озонирование воды в технологии водоподготовки // Водоснабжение и сан. техника, № 1, 2000.
- Журба М. Г., Говорова Ж. М., Жаворонкова В. И. и др. Очистка цветных маломутных вод, содержащих антропогенные примеси // Водоснабжение и сан. техника, № 6, 1997.
- Журба М. Г. Очистка и кондиционирование природных вод: состояние, проблемы и перспективы развития // Водоснабжение и сан. техника. № 5, 2002.
- Зорина Е.И. Активированные угли для водоподготовки // Водоснабжение и сан. техника, № 8, 1998.
- Иваник В. М., Назарова Л. Н., Грабик В. А., Иванова А. А. // Изменения гидрохимического режима и качества воды рек, озер и водохранилищ под влиянием хозяйственной деятельности человека: Гидротехнические материалы. Т. 18. Л.: Гидрометеиздат, 1989, с. 50-62.
- Кармазинов Ф.В. (ред.) Водоснабжение Санкт-Петербурга. СПб: «Новый журнал», 2003.
- Клюев Н. А., Курляндский Б. А., Ревич Б. А., Филатов Б. Н. Диоксины в России. М., 2001. 210 с.
- Кожин И. В., Драгинский В. Л., Алексеева Л. П. Особенности применения озона на водоочистных станциях России // Водоснабжение и сан. техника, № 10, 1997.
- Костюченко С. В., Волков С. В., Якименко А. В. и др. Обеззараживание при подготовке питьевой воды из поверхностных источников // Водоснабжение и сан. техника, № 2, 2000.
- Костюченко С. В., Волков С. В., Якименко А. В. и др. УФ-излучение для обеззараживания питьевой воды из поверхностных источников // Водоснабжение и сан. техника, № 2, 2000.
- Майстренко В. Н. Супертоксиканты – проблема XXI века // Диоксины – супертоксиканты XXI века: проблема № 1. М.: ВИНТИ, 1997, с. 3-16.
- Первов А. Г., Дудкин Е. В., Мотовилова Н. Б., Андрианов А. П. Ультрафильтрация – технология будущего // Водоснабжение и сан. техника, № 9, 2001.
- Первов А. Г., Макаров Р. И., Андрианов А. П., Ефремов Р. В. Мембраны: новые перспективы освоения рынка питьевой воды // Водоснабжение и сан. техника, № 10, 2002.
- Плитман С. И. Методические аспекты оптимизации санитарных условий использования воды населением восточных и западных регионов России // Дис. докт. мед. наук. М., 1991.
- Порядин А. Ф. Диоксины и экологическая безопасность России // Диоксины – супертоксиканты XXI века: проблема № 1. М.: ВИНТИ, 1997, с. 1-3.
- Путилина В. С., Онищенко Т. Л. Загрязнение окружающей среды диоксинами в России // Геоэкология, № 1, 2003, с. 45-51.
- Романенко Н. А., Новосильцев Г. И., Недачин А. Е. и др. УФ-излучение и его воздействие на вирусы и цисты простейших // Водоснабжение и сан. техника, № 12, 2001.

Смирнов А. Д., Миркис В. И., Кантор Л. И. Углевание воды при экстраординарных загрязнениях водоисточника // Водоснабжение и сан. техника, № 5, 2001. Ч. 2.

Топороков В. В. Гигиенические основы санитарной защиты водоемов от загрязнения сточными водами производства изопренового каучука // Дис.

докт. мед. наук. СПб., 1993.

Федоров Л. А. Диоксины как экологическая опасность. Ретроспектива и перспектива. М.: Наука, 1993, 265 с.

Шевченко М. А., Таран П. Н., Гончарук В. В. Очистка природных и сточных вод от пестицидов. Л.: Химия, 1989.

Gracia R., Aragues J.L., Ovelleiro J.L. Study of the catalytic ozonation of humic substances in water and their ozonation byproducts // Ozone Science and Engineering.

1995. V. 17. No. 3.

Hall T. (Ed.). Water Treatment Processes and Practices. 2nd Ed. 1997.

Holdsworth T.T., Shaul C.M. Ozone/light treatment of dithiocarbamate pesticides // US/RU Seminar of Advances in Water and Wastewater Treatment. Cincinnati, Ohio, 1992.

Methods for investigation and prevention of waterborne disease outbreaks // EPA/600/1-9/005. 1990.

Ventresque C. An outstanding feat of modern technology: the Mery-sur-Oise nanofiltration treatment plant (340000 m³/d) // Proc. Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production. V. 1. Paris, 2000.