

РОЛЬ ОЗОНИРОВАНИЯ В СВЕТЕ НОВЫХ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Драгинский В.Л., Алексеева Л.П.

*Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки
воды, г. Москва*

Новыми нормативными требованиями к качеству питьевой воды, которые планируется ввести Федеральным законом – специальным техническим регламентом «О питьевой воде и питьевом водоснабжении», уменьшается содержание основных показателей качества питьевой воды по остаточному алюминию и хлороформу, а также существенно снижается концентрация некоторых химических загрязнений (органических и неорганических), что трудно будет обеспечить традиционными методами.

Кроме того, появляются новые микробиологические показатели и основное требование к ним – их полное отсутствие в питьевой воде, что создает необходимость более эффективно осуществлять процесс обеззараживания воды.

Во многих случаях это потребует повышения глубины очистки воды, что повлечет за собой использование оптимальных методов реагентной обработки и модернизации конструкции очистных сооружений. При этом существенно возрастает значение озонирования воды, которое совместно с традиционной технологией, сорбцией и новыми для России мембранными методами очистки обеспечит выполнение требований новых нормативных документов.

Лаборатория технологии и очистки природных вод НИИ КВОВ около 30 лет занимается проблемой глубокой очистки воды с использованием озонирования воды. Проведенные многочисленные исследования по очистке воды различных водоисточников во многих регионах России, в том числе таких рек, как Волга, Ока, Кама, Дон, Томь, Урал, Северная Двина и многих других, имеющих высокий уровень загрязнения органическими веществами, позволили установить возможность, а в ряде случаев и необходимость применения озона.

Была определена технологическая эффективность озонирования воды и установлено следующее.

1. Озонирование эффективно удаляет ряд органических и неорганических загрязнений природного и антропогенного происхождения, таких как фенолы, нефтепродукты, амины, пестициды, СПАВ и др.

2. Озонирование воды позволяет уменьшить концентрацию хлорорганических соединений, образующихся при предварительном хлорировании или полностью решить проблему их образования при уменьшении дозы хлора или исключении первичного хлорирования воды.

3. Озонирование воды в большинстве случаев улучшает процесс коагулирования, уменьшает дозу коагулянта (примерно на 20-30%), а величина основных показателей – мутность, цветность и перманганатная окисляемость – несколько уменьшается.

4. Наряду с применением озонирования для очистки воды от антропогенных загрязнений озон может применяться при очистке цветных и высокоцветных вод, а также подземных вод от соединений железа, марганца, присутствующие в виде комплексных органических соединений.

5. Однако наряду с высокой эффективностью применения метода озонирования для очистки воды в ряде случаев имеет место специфический характер действия озона, когда предварительное озонирование может ухудшить процессы коагулирования и хлопьеобразования, в результате в очищенной воде повышается мутность и концентрация остаточного алюминия.

Серьезной проблемой при использовании озона является образование побочных продуктов окисления, к которым относятся формальдегид, ацетальдегид и др.

6. Отмеченное выше требует более внимательного подхода к применению озона для очистки воды и в каждом случае его обоснованного выбора на основе проведения технологических исследований и изучения взаимодействия озона с другими технологическими методами очистки воды.

7. Наиболее эффективным является метод совместного применения озона и активного угля, позволяющего обеспечить глубокую очистку воды от органических соединений, отвечающего современным требованиям стандарта.

8. Озонирование повышает также эффективность обеззараживания воды, в том числе по микробиологическим и паразитологическим показателям.

По заданию Госстроя России НИИ КВОВ был проведен опрос и обследование 80 водоканалов России (около 90 водопроводных станций), использующих поверхностные воды, и 60 водоканалов (80 станций), использующих подземные воды, на предмет необходимости применения методов глубокой очистки воды от антропогенных загрязнений с использованием озонирования и сорбции.

Результаты работ, представленные на рис.1, свидетельствуют о следующем:

- в 33% случаев по рассмотренным городам требуется применение методов глубокой очистки воды от природных и антропогенных органических загрязнений, без которых

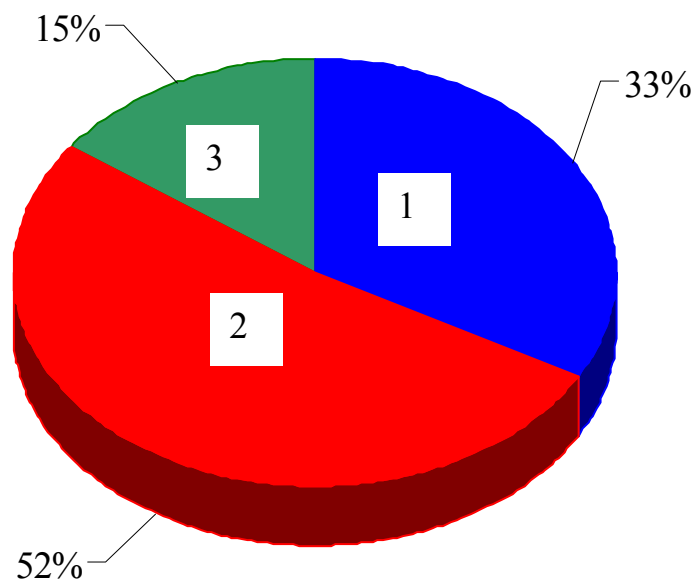


Рис. 1. Диаграмма необходимости применения методов глубокой очистки поверхностных вод на водопроводных станциях

существующими традиционными методами невозможно получить воду, отвечающую нормативным требованиям;

- в 52 % случаев следует установить целесообразность применения озона для повышения эффективности реагентной обработки воды, совершенствования технологической схемы очистки и улучшения качества питьевой воды;

- в 15% случаев качество поверхностных вод удовлетворительное, они характеризуются небольшой величиной основных показателей: мутности, цветности и окисляемости, и не имеют химических и повышенной степени микробиологических загрязнений. В этих городах не требуется применение дополнительных методов для глубокой очистки воды.

Вместе с тем на этих объектах требуется совершенствование технологической схемы очистки воды за счет повышения эффективности процесса реагентной обработки и обеззараживания воды или изменения конструкции отдельных элементов очистных сооружений и соответствующей реконструкции водоочистных станций.

Таким образом, практически во всех городах либо требуется применение озонирования и сорбции, либо следует оценить перспективность и целесообразность применения озono-сорбционного метода очистки.

Совершенно иная картина наблюдается в случаях использования подземных вод. Как известно, подземные воды по сравнению с поверхностными обладают большей защищенностью и стабильностью качества воды. Отсутствие значительного антропогенного воздействия окружающей среды на подземные воды делает возможным и диктует необходимость более широкого их использования.

Анализ данных по использованию подземных вод показал, что города, в которых необходимо применение озонирования и сорбции, исходя из уровня загрязненности подземных вод по химическим или микробиологическим показателям, составляют 12%, а города, в которых желательна применение специальных методов очистки и требуется подтвердить их целесообразность, равно 15%.

Иными словами, только четвертая часть объектов с подземными водоисточниками требует применения методов специальной глубокой очистки воды.

Несмотря на очевидную необходимость применения озонирования в России, это сдерживается финансовыми трудностями, хотя за последние годы масштабы применения озона увеличиваются, и в настоящее время эксплуатируется около 10 водопроводных станций с озонаторным оборудованием общей производительностью по обрабатываемой воде до 3 млн. м³ в сутки.

Результаты исследований по очистке воды от различных загрязнений, характерных для конкретных водоисточников, публиковались в статьях и докладывались на конференциях ИОА в Москве, Амстердаме и Берлине, на семинарах в МГУ и на конгрессах «Экватек». Поэтому остановимся подробнее на двух комплексных работах, проведенных нами в последние годы на водопроводах г.г. Калуги, Мегиона и Нефтеюганска.

Источником водоснабжения Калуги является р. Ока, качество воды которой характеризуется малой мутностью, за исключением паводка и периода дождей, и средней цветностью. В воде имеются органические загрязнения, определяемые перманганатной окисляемостью до 12 мг O₂/л, БПК до 7 мг O₂/л и ХПК до 60 мг O₂/л. Высокие значения ХПК свидетельствуют о загрязнении воды веществами антропогенного происхождения, в отдельные периоды концентрация нефтепродуктов достигает 0,9 мг/л. В воде практически постоянно отмечается запах на уровне 2-3 баллов, который при нагревании усиливается до 5 баллов. Неблагоприятна ситуация и в отношении микробиологических загрязнений (наличие в воде клостридий и колифагов), особенно в зимнее время года.

Очистка воды осуществляется на Окском водозаборе производительностью 100 тыс. м³/сут., введенным в эксплуатацию в 1985г. Водопроводная станция работает по двухступенчатой реагентной схеме очистки с горизонтальными отстойниками и скорыми фильтрами.

На первом этапе работы были обследованы очистные сооружения водопроводной станции. Традиционная технология очистки, применяемая на станции, не вполне соответствует качеству воды водоисточника, поэтому очистные сооружения не всегда могут обеспечить требуемое качество питьевой воды.

В связи с увеличением потребления воды в городе было решено повысить мощность Окского водозабора за счет строительства второй очереди очистных сооружений. Поэтому НИИ КВОВ было поручено разработать современную технологию глубокой очистки воды для нового блока водопроводной станции.

В течение 2001 и 2002 г.г. были проведены детальные предпроектные технологические изыскания в характерные периоды года: зимой, в весенний паводок, летом и осенью. Полученные экспериментальные данные легли в основу будущей технологии очистки. Исследования проводили по различным направлениям, в том числе:

- определение эффективности озонирования на технологические показатели очистки воды, ее качество и влияние предварительного озонирования на последующий процесс реагентной обработки воды;
- установление технологических параметров работы очистных сооружений;
- влияние озонирования на эффективность обеззараживания.

Практически во всех случаях предварительное озонирование позволяет повысить качество очищенной воды по мутности, цветности и перманганатной окисляемости. При оптимальной дозе озона (1,5-2,5 мг/л) окисляемость уменьшается на 20% при предварительном озонировании воды. Концентрация остаточного алюминия в большинстве случаев была значительно ниже при коагулировании озонированной воды: в период паводка она снижалась с 0,4 до 0,1 мг/л, в зимний период – с 0,3 до 0,05 мг/л.

В процессе исследований установлено, что предварительное озонирование позволяет существенно уменьшить дозу коагулянта. В качестве примера в таблице 1 представлены данные качества неозонированной и озонированной (Доз = 1,5 мг/л) воды, очищенной при различных дозах коагулянта. При сравнении полученных данных видно, что без предварительного озонирования качество очищенной воды даже при дозе коагулянта 2,3 мг/л ниже, чем с предварительным озонированием и дозой коагулянта 1,0-1,2 мг/л.

Таблица 1

Влияние озонирования на качество очищенной воды

Доза реагентов, мг/л		Мутность, мг/л	Цветность, град.	Остаточный алюминий, мг/л
Коагулянт	Озон			
2,3	0	0,9	12	0,3
	1,5	0,2	7	0,2
2	0	0,8	12	0,36
	1,5	0,8	8	0,31
1,2	0	1,1	13	0,27
	1,5	1	10	0,18
1	0	1,3	13	0,42
	1,5	0,9	9	0,2

При низкой мутности исходной воды (до 5 мг/л) и применении озонирования и последующего фильтрования очищенная вода по основным показателям удовлетворяет требованиям норматива. В такие периоды возможна очистка воды только озонированием без коагулирования.

Так как окская вода постоянно характеризуется наличием запаха на уровне 2-4 баллов, в схеме очистки воды был предусмотрен сорбционный угольный фильтр, обеспечивающий глубокую очистку воды не только по мутности до 0-0,6 мг/л, цветности до 0-4 град., концентрации остаточного алюминия до 0,02-0,1 мг/л, но и по содержанию органических загрязнений – показатель перманганатной окисляемости отмечается на уровне 0,5-1,5 мг/л. Запах воды после озонирования, контактного осветления уменьшается

с 2-5 до 1-3 баллов, и только сорбционная очистка обеспечивала снижение привкусов и запахов до 0-1 балла.

Поскольку в окской воде отсутствуют другие загрязнения, характерные для ряда водоисточников, то приведем в общем виде зависимости различных способов озон-сорбционной очистки воды на эффективность их удаления (рис.2).

Обобщенные данные исследований по влиянию озонирования и дозы озона на эффективность обеззараживания воды по различным микробиологическим загрязнениям, представленные на рис.3, свидетельствуют о высокой степени удаления этих загрязнений.

На основании анализа качества речной воды, обследования работы очистных сооружений и результатов предпроектных технологических исследований была разработана схема очистки воды для реконструкции существующей станции и новых сооружений второй очереди Окского водозабора (рис.4) производительностью 100 тыс. м³/сут.

Для очистки воды р. Оки озонирование используется в двух вариантах: на действующих сооружениях на этапе первичной обработки воды (предозонирование); на проектируемом блоке очистки постозонирование на этапе обработки воды после контактных осветлителей.

Кроме того, в схеме очистки заложены современные технические решения, а именно:

- для коагулирования воды предложено использование оксихлорида алюминия совместно с анионными и катионными флокулянтами;
- для осветления воды принимаются контактные осветлители типа КО 3 и сорбционные угольные фильтры, предназначенные для повышения глубины очистки воды от органических загрязнений, удаления запахов и возможных продуктов окисления, образующихся при хлорировании и озонировании воды;
- обеззараживание воды на обоих блоках в дополнение к озонированию рекомендуется осуществлять гипохлоритом натрия, полученным из минерализованных подземных вод, имеющихся на территории станции, путем электролиза с применением отечественного оборудования и многие другие решения.

В настоящее время проектным институтом ГПИ-8 (г. Калуга) закончены работы по проектированию нового блока и реконструкции существующей станции.

Предложенная технологическая схема характеризуется повышенной степенью надежности и обеспечивает получение питьевой воды, отвечающей требованиям СанПиН, при любом качестве воды р. Оки.

Весьма показательным является состояние водоснабжения для многих городов Тюменской области – района с нефте- и газодобывающей промышленностью.

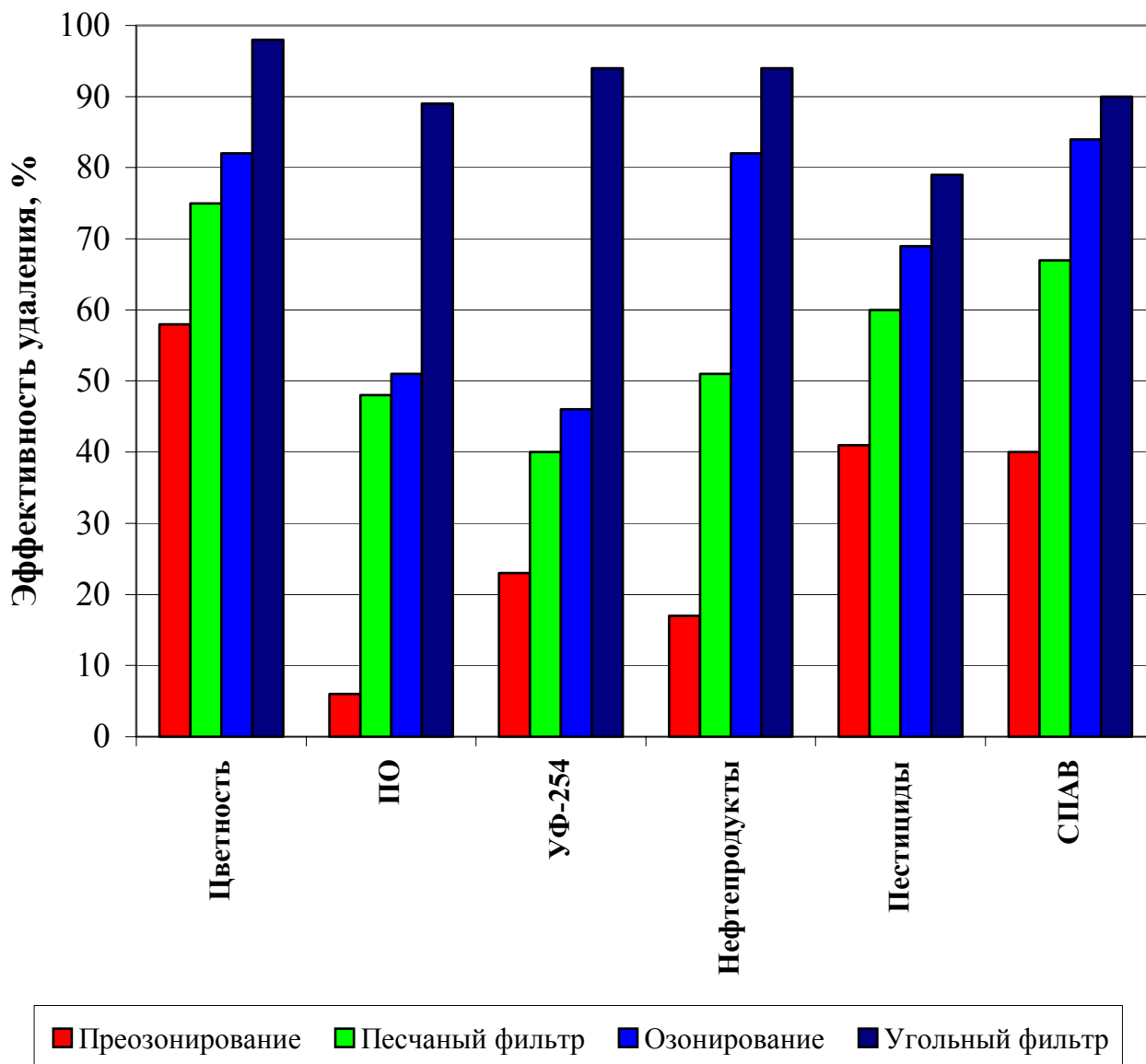


Рис. 2. Эффективность удаления различных загрязнений по этапам очистки воды

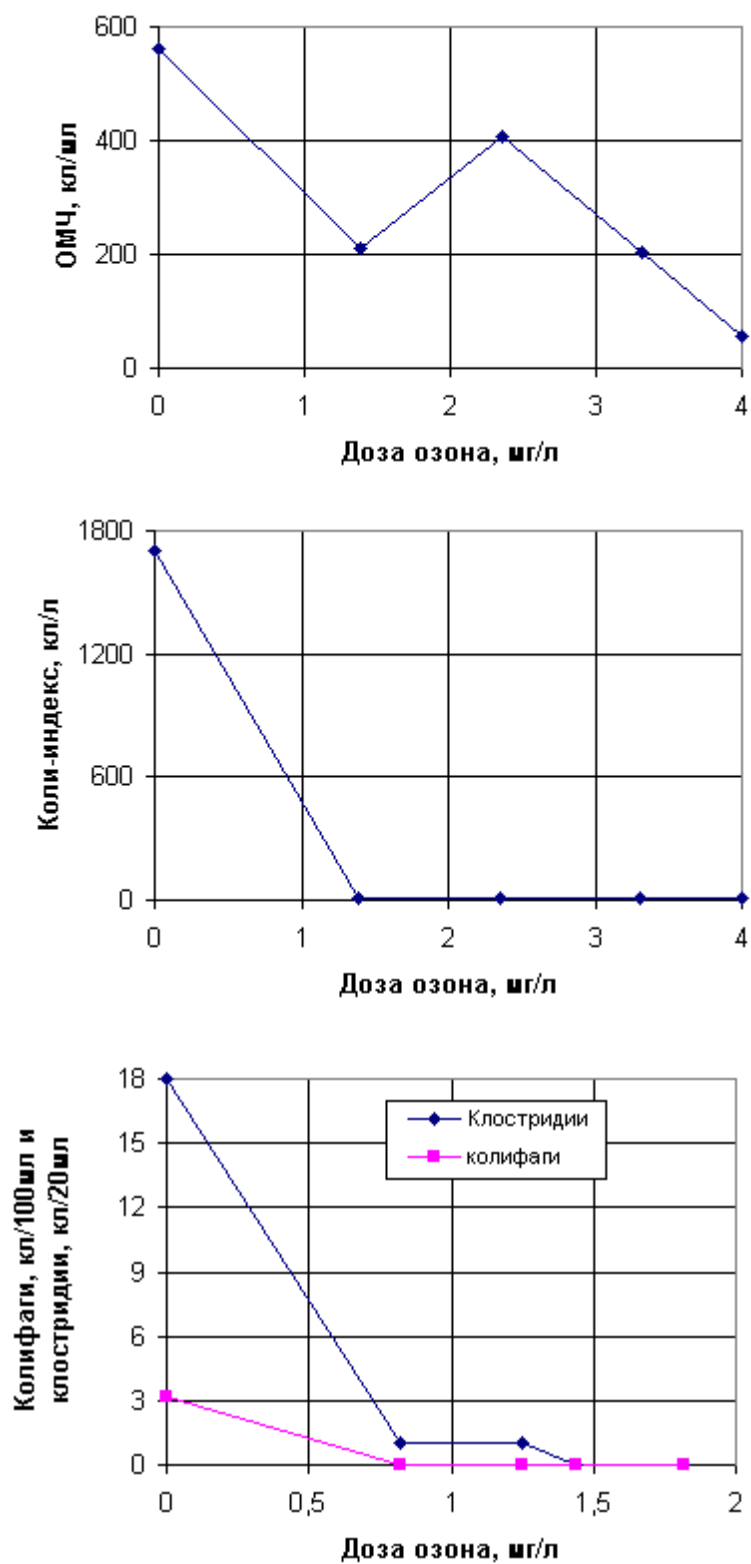


Рис. 3. Изменение микробиологических показателей качества речной воды при озонировании (летний период)

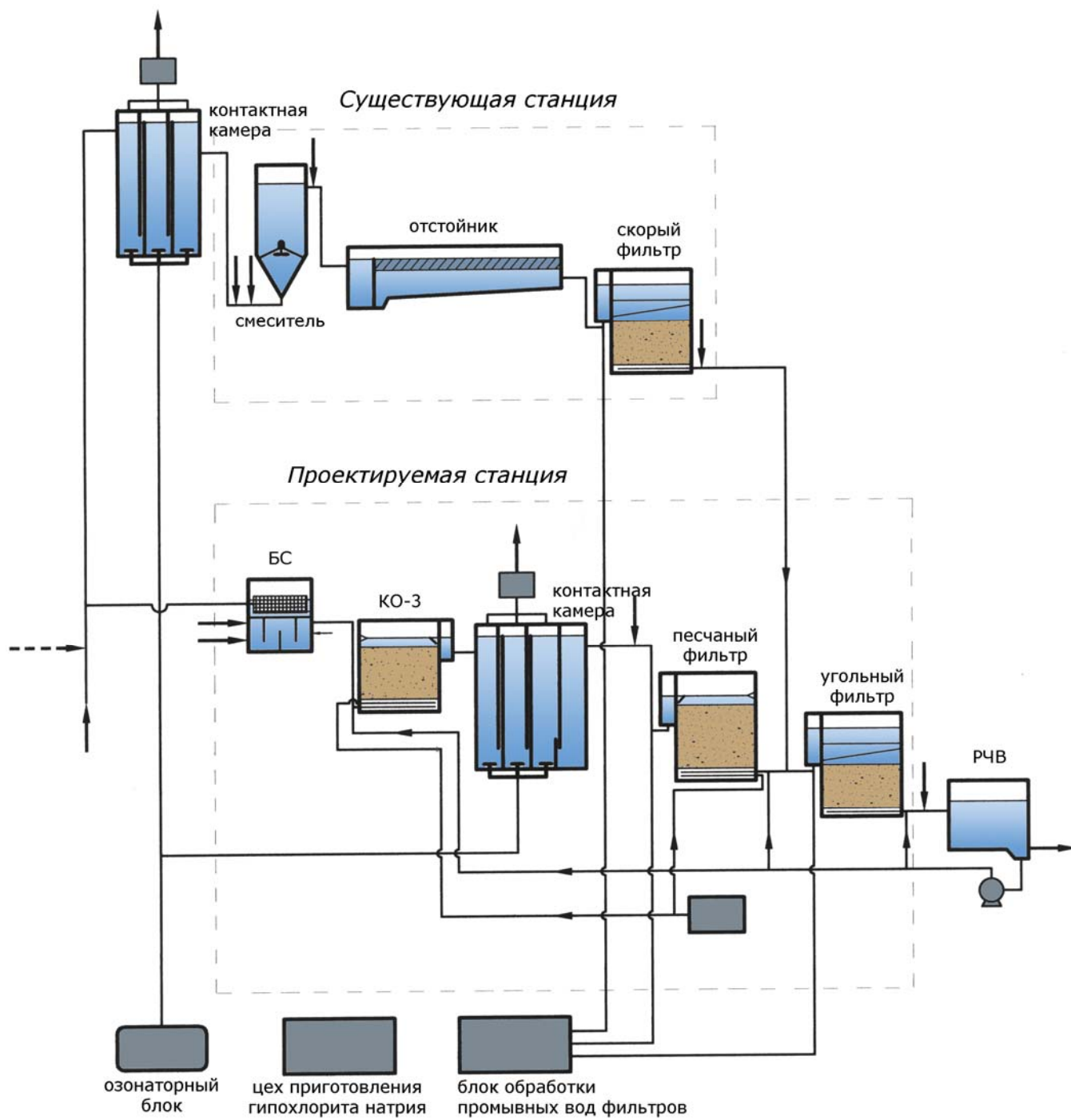


Рис. 4. Комплексная схема очистки воды на окском водозаборе

Источниками водоснабжения здесь являются подземные воды, которые в отличие от широко применяемых подземных вод на большей части территории России характеризуются сложным составом: наличием газов (метана и свободной углекислоты), повышенными значениями мутности, цветности, содержания железа и органических загрязнений, в том числе нефтепродуктов (табл. 2).

Таблица 2

Качество подземной воды в некоторых городах Тюменской области

Город	Температура, °С	Цветность, град.	Мутность, мг/л	Перманганатная окисляемость, мг/л	Концентрация, мг/л			
					железа	аммиака	нефтепродуктов	марганца
Нефтеюганск	1,1-1,3	36-64	0,8-2	4-5,8	1,5-2	1,5-3,4	0,1	-
Мегион	6	100-400	0,8-10	5-14	1,8-5,3	2,8-3,4	0,15-0,18	0,015-0,03
Пыть-Ях	-	70-130	<1	10-16	1,5-4	1,5-3	0,9-1,4	<0,05
Салехард (городской водозабор)	-	5-90	-	1,2-5	0,5-22	0-7	не обнаружено	0,1-4
Салехард (водозабор мыса Корчаги)	-	10-40	14-23	1,4-14	0,1-13	0-3	0-4,9	0,3-1,4

В 1980-х годах в нескольких городах были построены водоочистные станции, в технологии очистки подземной воды которых был заложен принцип обезжелезивания по методу упрощенной аэрации с последующим фильтрованием на напорных зернистых фильтрах.

Однако, в связи с наличием железозосодержащих органических комплексов, для удаления которых традиционные методы обезжелезивания непригодны, не обеспечивалось качество очищенной воды по основным показателям (железа, цветности, мутности, нефтепродуктам и др.).

Поскольку ранее отсутствовали какие-либо аналоги, типовые или экспериментальные решения для очистки сильнозагрязненных и железосодержащих подземных вод, возникла необходимость разработки новой, специальной технологии. С этой целью в г.г. Мегионе и Нефтеюганске были проведены экспериментальные исследования для разработки комплексной схемы очистки воды от всех имеющихся в ней загрязнений.

Исследования по очистке воды в безреагентном и реагентном режимах проводили в лабораторных условиях и на модельных установках песчаного и угольного фильтров. Полученные результаты показали следующее:

- очистка воды после смесителя в режиме упрощенной аэрации не приводила к уменьшению цветности, снижение концентрации железа отмечалось с 3-3,5 до 1,2-2 мг/л и перманганатной окисляемости с 8,4 до 6,8 мг/л;

- предварительная интенсивная аэрация кислородом позволила снизить содержание железа до 0,8 мг/л и перманганатную окисляемость до 5,4 мг/л;

- озонирование воды с введением озона в исходную воду и после песчаного фильтра обеспечило снижение концентрации железа до 0,25 мг/л.

В процессе исследований цветность воды удалялась только в случае применения озона и последующего фильтрования воды через песчаную и угольную загрузки. Эффективность очистки воды зависела от исходной цветности подземной воды и дозы озона. Так, получение воды стандартного качества по цветности обеспечивали дозы озона 4-5 мг/л при исходной цветности до 50 град и 25 мг/л озона при цветности 180 град. При больших значениях цветности необходимая доза озона достигала 35 мг/л.

Результаты исследований показали, что озонирование целесообразно применять при сравнительно невысокой цветности исходной воды (до 50-70 град). Для очистки высокоцветных вод необходимо применение реагентного метода, несмотря на его известные недостатки, связанные со сложностью эксплуатации реагентного хозяйства и образованием значительного количества осадка, требующего специальной обработки и утилизации. При введении реагентов в обрабатываемую воду коагуляция протекала эффективно с образованием крупных, хорошо оседающих хлопьев. После фильтрования воды доза сульфата алюминия 5 мг/л по Al_2O_3 обеспечивала качество воды, соответствующее нормативам по всем показателям.

На основании этих данных была предложена комбинированная схема очистки воды: при малой цветности (до 40-45 град) – озонирование воды, при высокой цветности – реагентный метод (совместно или без озонирования). При выполнении исследований в воде определяли концентрацию нефтепродуктов, марганца и формальдегида (табл.3).

Таблица 3

Изменение качества воды при ее обработке в г. Мегионе

Вода	Концентрация, мг/л		
	нефтепродуктов	марганца	формальдегида
Исходная	0,2-0,3	0,03-0,05	0
Исходная озонированная	0,1-0,15	0	0,18

После песчаной загрузки	0,1-0,12	0	0,02-0,025
Озонированная после песчаной загрузки	0,05-0,08	0	0,038
После угольной загрузки	0	0	0,015-0,02

Работами в г. Нефтеюганске показано, что реагентная обработка воды с использованием коагулянта сульфата алюминия при его дозах 8 мг/л по Al_2O_3 обеспечивается снижение цветности и мутности до нормативных значений. Однако концентрация железа даже при дозах коагулянта до 14 мг/л уменьшалась лишь до 0,6 мг/л, использование коагулянта оксихлорида алюминия было более эффективным.

С целью предварительного окисления комплексных органических соединений железа озон вводили в исходную воду. Изменение основных показателей качества воды от дозы озона представлено графиками на рис.5 (кривая 1), из которого видно, что озонирование воды позволяет снизить ее цветность (при оптимальной дозе озона 6 мг/л) до 20 град, мутность – до 0,3-0,4 мг/л, содержание железа – до 0,4-0,5 мг/л.

Представленные данные показывают, что самостоятельное озонирование или коагулирование воды не позволяют снизить концентрацию железа и цветность воды до нормативных значений и получить стабильное качество питьевой воды. Для повышения глубины очистки озонированную воду обрабатывали реагентами (коагулянтами и флокулянтами). Последующее коагулирование озонированной воды (рис.5, кривая 2) приводило к снижению основных показателей: цветности с 21 до 10 град, мутности с 0,4 до 0,2 мг/л, концентрации железа с 0,4-0,5 до 0,1-0,2 мг/л.

На основании полученных результатов установлено, что:

- наиболее эффективной схемой является: предварительное аэрирование – озонирование – последующее коагулирование;

- заключительная сорбционная очистка обеспечивала высокое качество воды по всем показателям, включая органические загрязнения и нефтепродукты. Значения цветности изменялись в пределах 0-1,4 град, мутности 0-0,25 мг/л, перманганатной окисляемости 1,2-1,4 мг/л, аммонийного азота – 2 мг/л. Концентрация железа составила 0,04-0,12 мг/л, остаточного алюминия – 0,08-0,18 мг/л;

- необходимая эффективность обеззараживания воды при использовании озона достигалась в очищенной воде после экспериментальной установки без дополнительной обработки воды хлором. Однако, учитывая, что в процессе эксплуатации сооружений возможно накопление в загрузке фильтров микробиологических загрязнений, окончательно обеззараживание необходимо проводить хлорреагентами. Это также необходимо для сохранения качества воды в водопроводной сети.

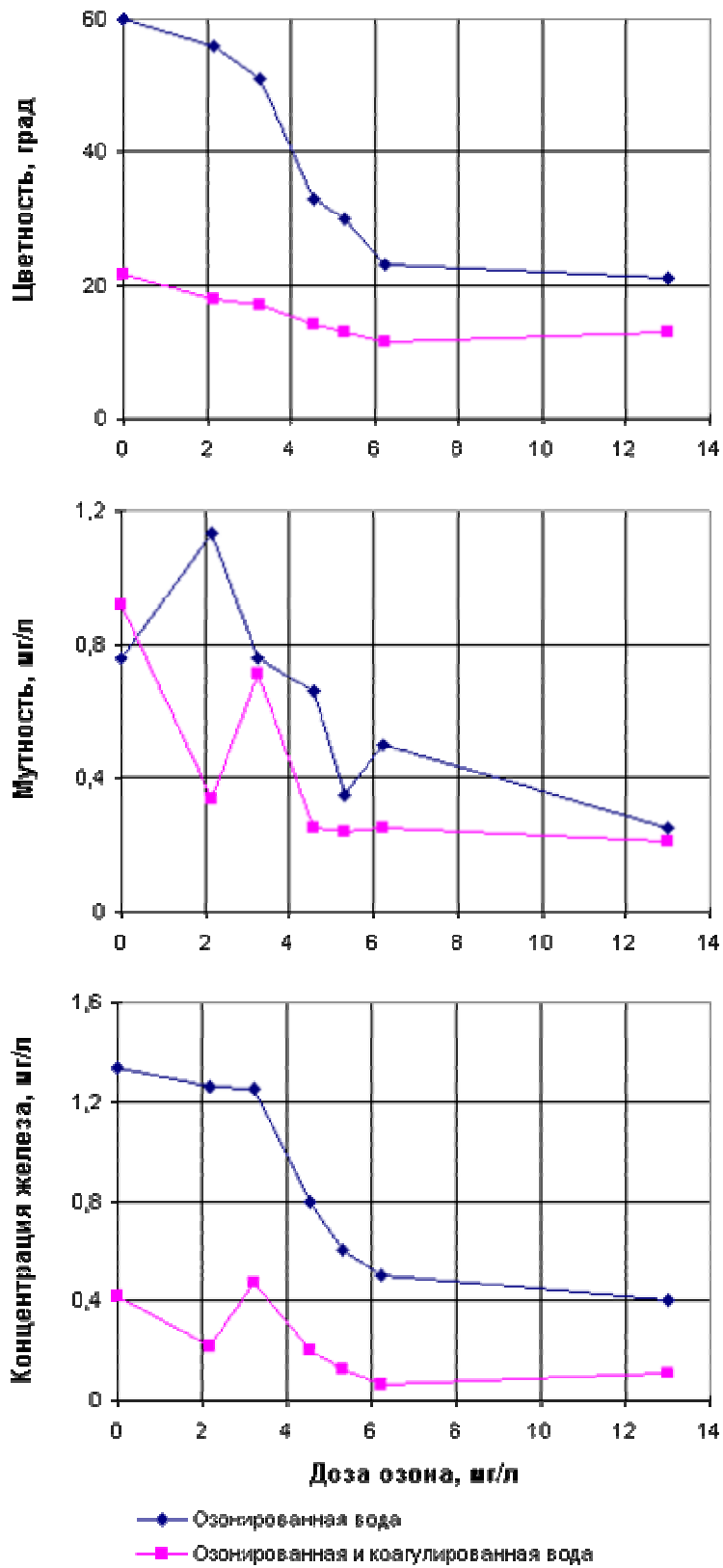


Рис. 5. Влияние предварительного озонирования на эффективность очистки воды при коагулировании ($D_k=8$ мг/л)

По результатам исследований была предложена комплексная технологическая схема очистки воды, включающая: дегазацию, озонирование, коагуляцию, фильтрование на песчаной и угольной загрузках фильтров, обеззараживание воды. Принципиальная схема очистки воды для г. Нефтеюганска представлена на рис.6.

По нашим рекомендациям ГУП «МосводоканалНИИпроект» разработало проект реконструкции станции и на основании выполненной рабочей документации генеральным подрядчиком Торговым Домом «Курганхиммаш-Озон» в настоящее время закончено выполнение строительно-монтажных работ и проводятся пуско-наладочные работы.

Реализованная в г. Нефтеюганске схема с корректировкой для конкретных условий может быть использована и на других объектах Тюменской области или других регионов, водоисточники которых характеризуются повышенным содержанием загрязнений природного и антропогенного происхождения.

Помимо городских станций большой производительности озон применяется для очистки воды плавательных бассейнов и в локальных очистных сооружениях производительностью до 10 тыс. м³/сут. Для очистки воды поверхностных и подземных водоисточников, характеризующихся повышенной степенью загрязнения антропогенными веществами предприятием ООО «Водкоммунтех» совместно с ООО Торговый Дом «Курганхиммаш-Озон» разработаны следующие виды водоочистного оборудования (рис. 7), в схему которых включены блоки озонирования воды.

Выводы

1. Озонирование во многих случаях является обязательным элементом технологической схемы очистки воды.
2. Озон в сочетании с традиционными реагентными схемами обработки воды и сорбцией на активных углях может обеспечить получение качественной питьевой воды в соответствии с высокими требованиями стандарта.
3. Современная техника озонирования и состояние промышленного выпуска отечественного озонаторного оборудования делает возможным применение озона на водопроводных станциях.

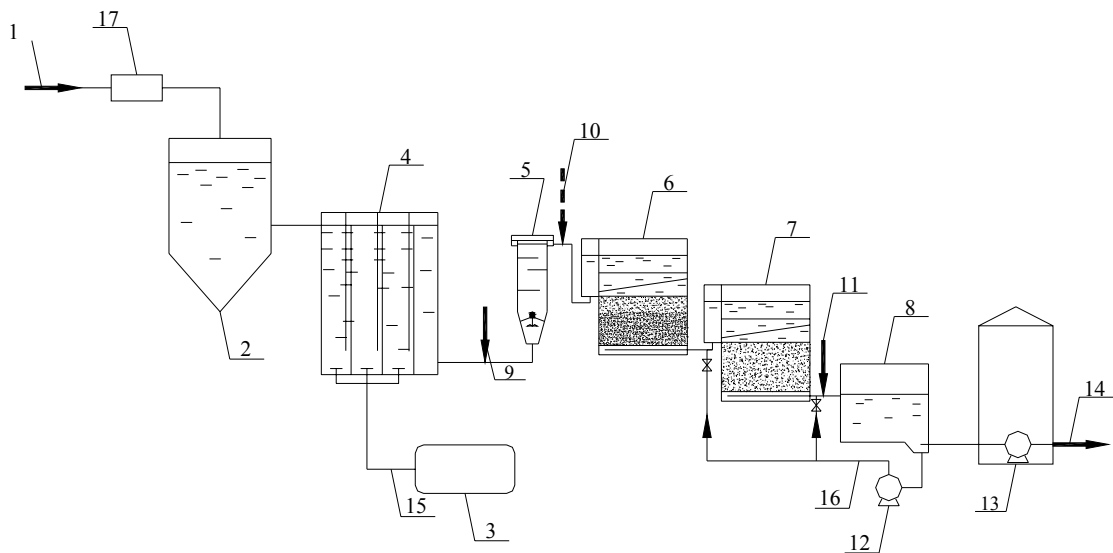
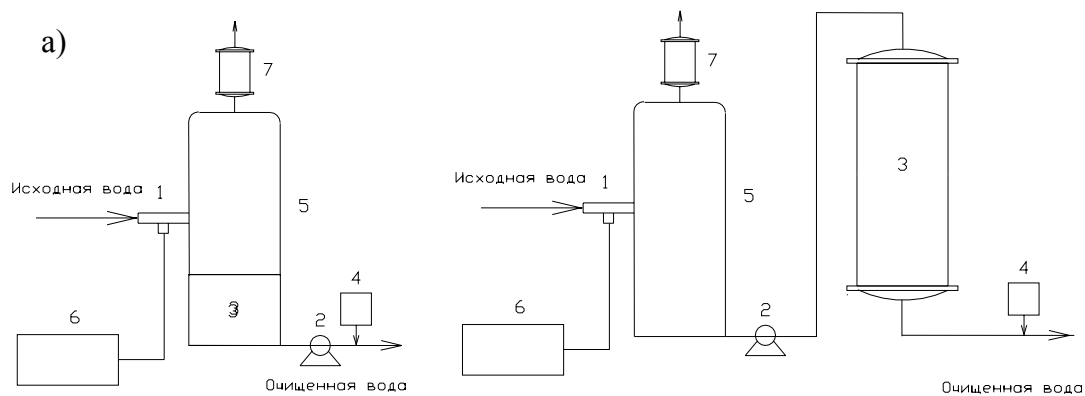
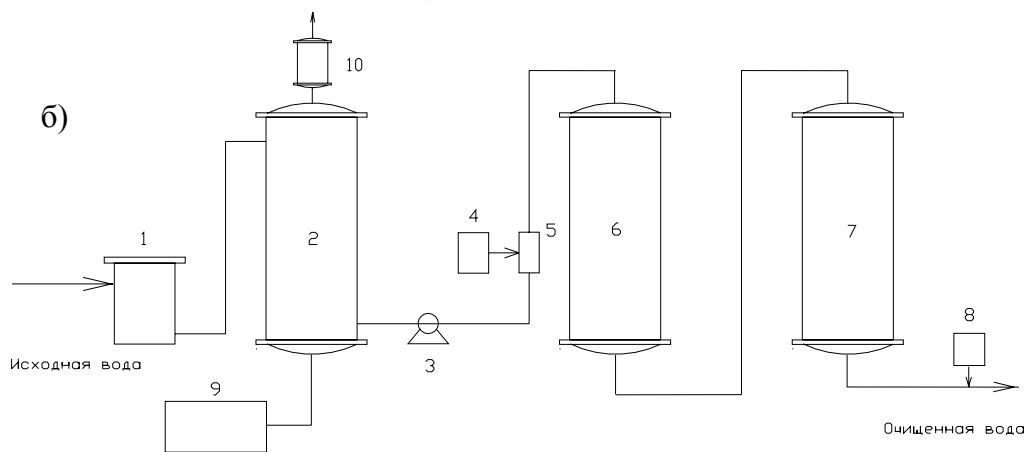


Рис.6 Принципиальная схема очистки подземной воды для г. Нефтеюганска

1- подача исходной воды; 2- дегазатор-аэрактор; 3- озонаторный блок; 4- контактная камера; 5- смеситель; 6- скорый фильтр с двухслойной загрузкой; 7- угольный фильтр; 8- р.ч.в.; 9- подача коагулянта (или флокулянта); 10 - подача флокулянта; 11- подача хлорреактента; 12- промывной насос; 13- насосная станция II-го подъема; 14- подача очищенной воды потребителю; 15- подача озонозвоздушной смеси; 16- подача воды на промывку фильтров; 17- высокоэффективный аэрактор



1 - эжектор, 2 - насос, 3 - фильтр, 4 - блок обеззараживания, 5 - контактный аппарат, 6 - блок озонирования, 7 - деструктор остаточного озона



1 - сетчатый фильтр, 2 - контактный аппарат, 3 - насос, 4 - реактантный блок, 5 - смеситель, 6 - двухслойный фильтр первой ступени, 7 - сорбционный фильтр второй ступени, 8 - блок обеззараживания, 9 - блок озонирования, 10 - деструктор остаточного озона

Рис. 7. Водоочистные установки с применением озонирования для очистки подземных (а) и поверхностных (б) вод

Список литературы

1. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Очистка подземных вод от соединений железа, марганца и органических загрязнений. Водоснабжение и санитарная техника. 1997. №12.
2. Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения. М., НИИ КВОВ. 1995.
3. Усольцев В.А., Соколов В.Ф., Алексеева Л.П. и др. Подготовка воды питьевого качества в городе Кемерове. М., 1996.
4. Методические рекомендации по обеспечению выполнения требований санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода...» на водопроводных станциях при очистке природных вод. Госстрой России. НИИ КВОВ. М., 2000.
5. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Применение озона в технологии подготовки воды. Информационный центр «Озон». Информационные материалы, вып.2, М., 1994.
6. Омаров М.А., Гаджиханов Н.Н., Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Очистка геотермальных вод от органических загрязнений и цветности. Водоснабжение и санитарная техника. 2001. №9.
7. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Методика проведения технологических изысканий и моделирования процессов очистки воды на водопроводных станциях. НИИ КВОВ. «Водкоммунтех». М., 2001.
8. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Моисеев А.В., Кутахин В.Ф., Стефанов С.И., Агафонов Ю.Н. Комплексный подход к решению технологической схемы очистки воды на Окском водозаборе г. Калуги. Водоснабжение и санитарная техника. 2003. №8.
9. Алексеева Л.П., Драгинский В.Л. Очистка подземных вод городов Тюменского региона. Водоснабжение и санитарная техника. 2004. №10.