

**М. Г. ЖУРБА, Ю. Р. ПРИЕМЫШЕВ,
Ж. М. ГОВОРОВА, Е. А. ЛЕБЕДЕВА**

**ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД,
СОДЕРЖАЩИХ АНТРОПОГЕННЫЕ
ПРИМЕСИ**

**Москва-Вологда
1998**

38.761
0-95
УДК 628.16.067
ББК 38.761.104
~~Ж91~~
0-95

Рецензенты:

Директор института "Вологдаинжпроект", кандидат технических наук
Н. П. КОНОНЧУК

Доктор химических наук, профессор ВГПУ
Л. А. КОРОБЕЙНИКОВА

Рисунки вологодского художника и архитектора
В. А. СЕРГЕЕВА

Ж91 Журба М. Г., Приемышев Ю. Р., Говорова Ж. М., Лебедева Е. А.
Очистка природных вод, содержащих антропогенные примеси:
Практическое пособие. - Вологда: ВГТУ, 1998. - с. 104
ISBN 5-87851-079-0

В предлагаемой книге изложены результаты анализа существующих и испытаний усовершенствованных технологий очистки маломутных цветных вод, для которых характерны длительные периоды с низкими температурами и содержание примесей антропогенного происхождения.

Пособие предназначено для работников водопроводно-канализационного хозяйства и студентов, обучающихся по специальности "Водоснабжение и водоотведение".

Рекомендовано редакционно-издательским советом Вологодского политехнического института в качестве практического пособия.

УДК 628.16.067

ББК 38.761.1

© Вологодский государственный
технический университет, 1998

© Журба М. Г., 1998

© Приемышев Ю. Р., 1998

© Говорова Ж. М., 1998

© Лебедева Е. А., 1998

ISBN 5-87851-079-0

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ТРАНСФОРМАЦИЯ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ	7
1.1. Виды и масштабы антропогенных нагрузок на природные водоисточники	7
1.2. Динамика изменения качества воды р. Вологда и оз. Кубенское	11
2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СООРУЖЕНИЙ ВОДООЧИСТКИ	23
2.1. Защитные функции современных водоочистных сооружений в условиях повышенных антропогенных нагрузок	23
2.2. Эффективность работы станции очистки воды г.Вологды	27
3. МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД ИНГРЕДИЕНТОВ АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	33
3.1. Стратегия выбора технологий и сооружений	33
3.2. Обработка воды сильными окислителями и коагулянтами	38
3.3. Аэрирование воды	42
3.4. Сорбция на активированных углях	42
3.5. Биохимическая трансформация азотных соединений	44
3.6. Удаление нефтепродуктов	47

4. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ЦВЕТНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ АНТРОПОГЕННЫЕ ПРИМЕСИ	49
4.1. Исследования на воде р. Волга	50
4.2. Исследования на воде р. Вологда и оз. Кубенское . . .	56
4.3. Технологическая схема подготовки питьевых вод . . .	62
4.4. Водоочистка в слое взвешенного осадка и фильтра с плавающей загрузкой	67
5. РЕАЛИЗАЦИЯ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВЫСОЦВЕТНЫХ МАЛОМУТНЫХ ВОД	75
5.1. Установка заводского изготовления для глубокой очистки питьевой воды Zh-2(Cw)-25	75
5.2. Результаты промышленных испытаний передвижной установки Zh-2(Cw)-25	78
6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОДООЧИСТКИ	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
ЛИТЕРАТУРА	95

1. ТРАНСФОРМАЦИЯ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

1.1. Виды и масштабы антропогенных нагрузок на природные водоисточники

Большинство источников водоснабжения стран СНГ в последние десятилетия подвергаются существенному воздействию антропогенно-техногенных факторов. Наибольшую опасность для водных ресурсов представляют недостаточно очищенные или вовсе неочищенные сточные воды: хозяйственно-фекальной и промышленной канализации; поверхностный сток с промышленных площадок и селитебных территорий; ливневые и талые воды с водосборов; поверхностный сток с площадок животноводческих ферм и комплексов; дренажные воды недостаточно изолированных хвостохранилищ и прудов-накопителей жидких отходов производства; дренажный и поверхностный сток с мелиорированных сельскохозяйственных угодий. С такими стоками в водоисточники поступают биогенные загрязнения, фенолы, нефтепродукты, соли тяжелых металлов, продукты разложения удобрений и ядохимикатов и т.п.

По данным Национальных докладов о состоянии природной среды в странах СНГ в водах рек Волги, Дона, Днепра, Днестра, Аму-Дарьи, Северной Двины, Томи, Тобола и других на отдельных их участках были установлены повышенные концентрации фенолов (до 2...7 ПДК), хлорорганических пестицидов (до сотен ПДК), аммонийного и нитритного азота (до 10...16 ПДК), нефтепродуктов (до сотен и тысяч ПДК), ионов цинка, меди, свинца (десятки ПДК).

Радиоактивное загрязнение рек и водохранилищ бассейна Днепра в результате Чернобыльской трагедии создает серьезные экологические и технические проблемы в обеспечении качественной питьевой водой жизненно важных центров с многомиллионным населением. Регулирование стока ряда крупных рек повлияло на качественный состав воды, спровоцировало интенсификацию эвтрофирования в искусственных водоемах.

Количество и номенклатура загрязняющих веществ, попадаю-

щих в поверхностные и подземные воды зависит от климатических и геоморфологических условий; профиля и величины промышленных и сельскохозяйственных предприятий, расположенных на водосборах; эффективности и надежности технологий очистки хозяйственных и промышленных сточных вод, сбрасываемых в водоприемники и на рельеф местности. Так, основными источниками загрязнений водных объектов Северо-Западного региона России (реки Северная Двина, Сухона, Онега, Печора) традиционно являются недостаточно очищенные сточные воды городов и поселков, предприятий деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности (бассейн р.Северной Двины); угольной и нефтегазовой промышленности (бассейн р.Печоры); жидкие и твердые отходы животноводства, размещаемые на водосборах рек (бассейны р.Сухоны и Верхней Волги).

Основными загрязняющими веществами поступающими в водоемы Северо-Западного региона со сточными водами, являются: нефтепродукты, бензол, этилбензол, цианиды, роданиды, соли тяжелых металлов, органические вещества, бактериальные загрязнения.

Санитарное состояние водотоков в значительной степени определяется и спецификой их гидрологических режимов. Оно значительно ухудшается в тех случаях, когда имеют место явления денивилизации, приводящие к образованию обратных течений (реки Северная Двина, Сухона). По этой причине в районе водозаборов г.г. Архангельска, Сокола, Новодвинска периодически резко ухудшается качественный состав воды. Так, в р.Сухоне в районе Сокольского промузла БПК^{полн} достигает 42 мгО /л, колииндекс - 23800, ХПК - 280 мгО /л, содержание метанола² 2,2 мг/л [33]. В зоне влияния Архангельского ЦБК выше гигиенических нормативов регистрировались биохимическое (БПК) и химическое потребление кислорода (ХПК), содержание нефтепродуктов, липносурьфонатов, бактериальных загрязнений [1, 24]. В результате сброса сточных вод в р.Онегу в воде наблюдалось увеличение уровня перманганатной окисляемости с 15,8 до 22,4 мг/л, величины БПК^{полн} - с 0,6 до 20,0 мгО /л, снижение содержания растворенного кислорода^{полн} до 0,4 мгО /л. Отмечалось присутствие нефтепродуктов и фенолов в количествах² выше допустимых уровней.

Большое количество предприятий машиностроительной, химической, металлургической, легкой промышленности являются источниками повышенных техногенных нагрузок на крупнейший водоток России - р. Волгу.

В последние годы в водах водохранилищ Средней и Нижней Волги наблюдалось увеличение в отдельные периоды года концен-

траций нефтепродуктов (до 130 ПДК), фенолов (до 40 ПДК), ионов меди (до 4...9 ПДК), цинка (до 1,5...1,7 ПДК) [35].

В периоды полного прекращения санитарных попусков воды вблизи створов выпусков сточных вод городов аккумулируются наносы, которые с включением агрегатов ГЭС и изменением кинематики потоков распространяются вниз по течению на большие расстояния. Таким образом водозаборы нижележащих населенных пунктов оказываются в зоне существенного влияния вышележащих городов.

Влияние агропромышленного комплекса на качество поверхностных источников проявляется наиболее существенно в весенний паводок, когда в воде наблюдаются повышенные концентрации пестицидов (ГХЦГ, метафос, ДДТ, хлорофос и др.), биогенных и органических загрязнений.

В устьевой части р.Волга наблюдаются высокие показатели цветности, перманганатной окисляемости, ХПК, значительное содержание органических веществ по БПК, повышенное содержание аммонийного азота, железа, нефтепродуктов [36].

Весьма напряженным является санитарное состояние левого притока р.Волги - реки Камы и Нижне-Камского водохранилища.

Так, показатель БПК воды этого водоема превышает гигиенический норматив в 1,3 раза^{норм}, концентрация нефтепродуктов - в 1,7...2,7 раза, железа общего - в 1,2...1,6 раза. В воде зафиксированы высокие показатели органического загрязнения по ХПК (от 30 до 46 мгО/л), содержания азота аммиака, нитритов и нитратов, повышенного количества взвешенных веществ. Регулирование стока реки повлияло и на качественный состав взвешенных веществ: появилась взвесь (преимущественно антропогенного происхождения) с повышенной агрегативной и кинетической устойчивостью.

На ряде участков рек южного региона России (р.Кубань, Белая) основными показателями загрязнения воды являются органические вещества, нефтепродукты, фенолы и бактериальные загрязнения. К специфическим показателям загрязнения данного региона относятся тяжелые металлы, ядохимикаты, азотсодержащие соединения.

Реки Сибири также испытывают значительную антропогенную нагрузку. Например, бассейн р.Томь является по существу коллектором сточных вод большинства городов, поселков, промышленных предприятий Кемеровской области. Масштабы загрязнений этой реки таковы, что ее самоочищение не происходит даже на расстоянии 300 км ниже по течению от г.Кемерово. По данным [22] в створе г.Кемерово

среднегодовые концентрации нефтепродуктов в 1988...1990 гг. составляли 1...2 ПДК, фенолов - 2...3 ПДК. В воде обнаруживались особо вредные для здоровья людей вещества: капролактамы, циклогексанол, циклогексанооксин, формальдегид, бензол, хлорорганические соединения (тетрахлоруглерод, тетрахлорэтан, хлороформ и др.).

Реки Обь, Енисей, Лена на отдельных участках также загрязнены фенолами, нефтепродуктами, соединениями меди и цинка.

Практически на всех участках северных Сибирских водных объектов, находящихся в зоне влияния сточных вод и поверхностно-склонового стока с промпредприятий цветной металлургии обнаруживаются металлы: медь (*Cu*), железо (*Fe*), кадмий (*Cd*), никель (*Ni*), цинк (*Zn*) и др.

Анализ результатов многолетних наблюдений территориальных ЦГСЭН за качеством вод источников по Федеральной программе "Водоемы" показал, что для оценки санитарного состояния водоемов используются в основном такие показатели как нефтепродукты, фенолы, азот аммиака, нитритов и нитратов, сульфиды, сульфаты, хлориды, сероводород, лигнины, *Ni*, *Cu*, *Zn*, *Cd*, *Al*, *Fe*, цианиды, роданиды, *F*, растворенный кислород, взвешенные вещества, БПК, ХПК, цветность, перманганатная окисляемость [25]. Степень загрязненности вод источников водоснабжения органическими веществами в достаточной степени достоверно может быть оценена по содержанию общего органического углерода (ООУ). В подземных водах его концентрации колеблются обычно в пределах 1...2 мг/л, а поверхностных - 1...20 мг/л.

Количественная оценка содержащихся в природных водах биоразлагаемых органических веществ возможна по содержанию ассимилируемого органического углерода (АОУ), в особенности тогда, когда традиционное определение по БПК недостаточно чувствительно. В природных поверхностных водах может содержаться от 0,2 до 500 мкг/л АОУ. В подземных водах его концентрации не превышают обычно 10 мкг/л. Содержащиеся в воде органические соединения стимулируют рост бактериальных загрязнений на очистных сооружениях и в распределительной системе водопровода. Кроме органических загрязнений на эффективность процессов при подготовке природных вод влияют находящиеся в них соединения азота, железа, марганца и сероводорода. Аммонийные соединения, железо и марганец, остающиеся в обработанной воде, также являются питательной средой для некоторых бактерий. В аэробных условиях в процессе очистки удаление этих соединений из воды может сочетаться с удалением органи-

ческих загрязнений. Исключение составляют нитриты и нитраты, для биотрансформации которых необходимы анаэробные условия.

На основании обобщения данных гидрохимической информации, результатов исследований и опыта эксплуатации действующих станций нами было предложено [8] при выборе технологий и сооружений водоочистки в условиях повышенных антропогенных нагрузок на водоисточники учитывать наиболее часто встречающиеся виды ингредиентов техногенного происхождения. Их концентрации указаны в табл. 1.

При проектировании станций водоочистки уточнение перечня определяемых ингредиентов и их концентраций должно проводиться для каждого конкретного водозабора по результатам наблюдений в наиболее характерные периоды года и с учетом экологической обстановки в зонах санитарной охраны второго и третьего пояса водоисточника.

Конкретным подтверждением изменений качества воды в поверхностных водоисточниках Северо-Западного региона России является приведенный ниже анализ результатов наблюдений за качеством воды реки Вологда и озера Кубенское - источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения г.Вологды.

1.2. Динамика изменения качества воды р.Вологда и оз.Кубенское

Изученность гидрохимического режима поверхностных водоисточников, расположенных на территории Вологодской области, нельзя признать достаточной для проведения серьезных обобщений, несмотря на широкий круг различных организаций, наблюдающих за составом стока. Система мониторинга водоисточников, существующая в настоящее время, чаще всего имеет узкопрактические цели: результаты наблюдений не публикуются, отсутствует систематичность в отборе проб, унификация в методах анализов, параллельность изучения гидрохимических и гидрологических характеристик и т.п. Любые обобщения результатов такого мониторинга следует рассматривать как приближенную в той или иной степени информацию о гидрохимическом режиме водоисточников. Представленный ниже анализ гидрохимического режима водоисточников г.Вологды - р.Вологды и оз.Кубенское - базируется на основе данных технологического контроля за показателями качества исходной воды и динамикой уровней в створах водозаборов, полученных базовой лабораторией МУП "Вологдагорводоканал" в 1992-96 гг. Всего проанализировано 1200 серий

Таблица 1

Наиболее распространенные концентрации загрязнителей антропогенного происхождения в водосточниках

№ п/п	Ингредиенты	Ед. изм.	Концентрации в исходной воде	Нормативы в проекте ГОСТа (ВОЗ)
1.	Нефтепродукты	мг/л	1...2	0,1 (0,3)
2.	Фенолы (образующие хлорфенольные соединения)	мкг/л	200...300	1,0 (0,1)
3.	Азот аммонийный	мг/л	10	2,0 (не уст.)
4.	Нитраты	мг/л	65...90	45,0 (не уст.)
5.	Нитриты	мг/л	6...7	3,0 (не уст.)
6.	ПАВ	мг/л	4...5	0,5 (-)
7.	Пестициды:			
	линдан	мкг/л	20...30	2,0 (3,0)
	гептахлор	мкг/л	0,3...0,15	0,03 (0,1)
	атразин	мкг/л	20...30	2,0
	ДДТ	мкг/л	20...30	2,0 (0,1)
8.	Соли тяжелых металлов:			
	ртуть	мг/л	0,01	0,001 (0,001)
	свинец	мг/л	0,1	0,01 (0,03)
	хром	мг/л	0,5	0,05 (0,05)
	медь	мг/л	20,0	2,0 (1,0)
	цинк	мг/л	25...60	5,0 (5,0)
9.	Железо	мг/л	0,45...1,5	0,3 (0,3)
10.	Алюминий остаточный	мг/л	1,0...4,0	0,5 (0,2)
11.	Четыреххлористый углерод	мкг/л	80...200	2,0 (3,0)
12.	Хлороформ	мкг/л	50...400	200 (30)

измерений показателей качества воды по 26 ингредиентам и около 1300 серий наблюдений за режимом уровней в створах водозаборов.

Для проведения анализа составлялись ранжированные ряды из данных наблюдений по отдельным показателям в целом за рассматриваемый период, а также выборки, соответствующие разным фазам водного режима: зимняя и летняя межень, весеннее половодье. Составление выборок проводилось на основе данных наблюдений за режимом уровней рассматриваемых водосточников. Все ранжированные ряды и вы-

под воздействием антропогенных факторов

борки по показателям среднеквадратичных отклонений характеризуются удовлетворительной для статистической обработки репрезентативностью. Сравнительная характеристика рядов наблюдений за показателями качества воды р.Вологда и оз.Кубенское представлена в табл. 2.

Таблица 2
Сравнительная характеристика рядов наблюдений
за показателями качества воды р.Вологда и оз.Кубенское
в период 1992-1996 гг.

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя	
			р.Вологда	оз.Кубенское
1	2	3	4	5
1.	Цветность	°ПКШ	<u>140-13</u> 53	<u>200-39</u> 76
2.	Мутность	мг/л	<u>19.6-0.6</u> 3.6	<u>212-0.8</u> 3.8
3.	ХПК	мг/л	<u>63.6-14.79</u> 40	<u>76.96-18.68</u> 53
4.	Нефтепродукты	мг/л	<u>0.45-0.0</u> 0.15	<u>0.32-0.0</u> 0.06
5.	Растворенный кислород	мг/л	<u>12.61-0.86</u> 7.26	<u>11.5-2.3</u> 7.65
6.	Железо общее	мг/л	<u>7.46-0.0</u> 0.62	<u>9.6-0.06</u> 1.16
7.	Перманганатная окисляемость	мг/л	<u>25.6-1.57</u> 10.56	<u>40.31-3.62</u> 16.46
8.	БПК _{полн.}	мг/л	<u>7.7-0.4</u> 2.19	<u>5.6-0.1</u> 2.78
9.	Хлориды	мг/л	<u>31.81-1.1</u> 12.61	<u>20.19-1.0</u> 8.68
10.	Сульфаты	мг/л	<u>175.5-0.0</u> 59.53	<u>104.11-3.0</u> 40.03
11.	Кальций	мг/л	<u>96.31-9.0</u> 46.25	<u>98.15-8.0</u> 37.0
12.	Магний	мг/л	<u>118.56-5.0</u> 23.98	<u>53.38-4.86</u> 19.23
13.	Фтор	мг/л	<u>1.26-0.0</u> 0.22	<u>0.20-0.0</u> 0.122
14.	Аммоний	мг/л	<u>1.38-0.0</u> 0.38	<u>9.85-0.0</u> 0.68
15.	Нитриты	мг/л	<u>0.59-0.0</u> 0.032	<u>0.088-0.0</u> 0.035

Трансформация качества природных во

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
16.	Нитраты	мг/л	$\frac{12.9-0.0}{2.34}$	$\frac{2.78-0.0}{0.97}$
17.	Медь	мг/л	$\frac{1.71-0.0}{0.0289}$	$\frac{0.05-0.0}{0.09}$
18.	Калий + натрий	мг/л	$\frac{86.7-0.0}{22.24}$	$\frac{41.2-0.0}{11.51}$
19.	Марганец	мг/л	$\frac{16.27-0.01}{0.392}$	$\frac{0.768-0.063}{0.185}$
20.	Мышьяк	мг/л	$\frac{0.047-0.0}{0.0036}$	$\frac{0.268-0.0}{0.005}$
21.	Свинец	мг/л	$\frac{0.024-0.0}{0.0052}$	$\frac{0.023-0.0}{0.005}$
22.	Цинк	мг/л	$\frac{0.033-0.0}{0.0062}$	$\frac{0.045-0.0}{0.009}$
23.	Молибден	мг/л	$\frac{0.063-0.0}{0.0103}$	$\frac{0.09-0.0}{0.019}$
24.	Коли-индекс	число бактерий в 100 мл	$\frac{240000-73}{11500}$	$\frac{4600-20}{990}$
25.	ОМЧ	число образующих колонии бактерий в 1 мл	$\frac{1000-5.0}{147}$	$\frac{300-1.0}{42}$
26.	Фенол	мг/л	$\frac{7.07-0.0}{0.006}$	$\frac{0.019-0.0}{0.003}$
27.	СПАВ	мг/л	3.15-0.0	нет информации
28.	Кадмий	мг/л	нет информации	$\frac{0.003-0.0}{0.0008}$

Примечание: в числителе дроби приводится max (слева) и min (справа) значение показателя, в знаменателе - норма ряда наблюдений.

Судя по режиму уровней, для р.Вологда характерны четко выраженные весеннее половодье; летняя межень, прерываемая кратковременными дождевыми паводками; зимняя межень с плавным понижением уровня до минимума к концу зимы. Начало весеннего

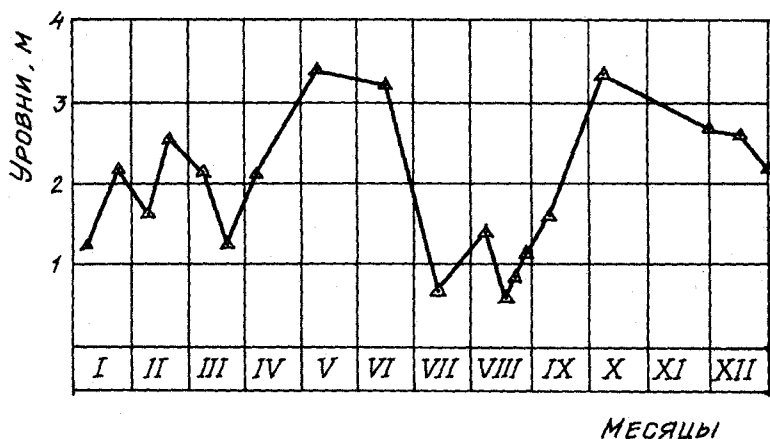
половодья приходится в среднем на середину апреля, раннее - конец марта, позднее - конец апреля. Подъем уровней в половодье продолжается 7-26 дней, спад - 20 дней - 2 месяца. Столь длительный спад уровней по сравнению с периодом их подъема определяется наличием подпора, а в отдельные периоды - денивилляцией от р.Сухона, притоком которой является р.Вологда. Длина р.Вологда - 155 км, створ водозабора расположен на 40-м км от устья, река на этом участке зарегулирована двумя перемычками на отметках 110 м при отметке дна реки 106,77 м БС.

Второй водоисточник г.Вологды - оз.Кубенское также, как и р.Вологда, относится к водосбору р.Сухоны и является ее истоком. Как водоисточник, оз.Кубенское используется в периоды межени, когда стока р.Вологды недостаточно для водоснабжения города. В эти периоды южная часть озера, где располагается водозабор, представляет собой узкий водоем глубиной 0,6-0,8 м, по которому проходит транзит стока от р.Кубены (впадающей в озеро в северной части) до р.Сухоны, исток которой расположен в юго-восточной части озера. Особенность оз.Кубенское - широкоизвестный факт обратного течения р.Сухоны в периоды весеннего половодья, причиной которого является несовместимость в режимах паводкового стока гидрографической сети на водосборе Верхней Сухоны. Проблема денивилляции на р.Сухона имеет принципиальное значение в связи с транспортом обратным стоком в район водозабора большого количества загрязнений от антропогенно-техногенных источников, расположенных на водосборе Верхней Сухоны (основные расположены в г.Сокол). Аккумуляция этих загрязнений в период половодья вблизи водозабора и трансформация их в последующие периоды считается основной причиной высокого уровня антропогенной нагрузки в створе водозабора на оз.Кубенское.

Сравнение временных рядов по отдельным ингредиентам с аналогичными, сформированными по фазам водного режима свидетельствует о периодическом характере изменений в содержании кальция, магния, хлоридов, сульфатов, ХПК, мутности и цветности. Это связано с сезонной динамикой основных источников питания рассматриваемых водных объектов и подтверждает наличие общих тенденций в изменении показателей гидрохимического и гидрологи-

ческого режимов. Связь между показателями мутности, цветности, окисляемости, хлоридов, содержания кальция и магния и фазами водного режима рассматриваемых водоисточников свидетельствует о преобладании природного фактора в формировании вышеперечисленных гидрохимических характеристик (рис. 1-4). Доминирующую роль в формировании динамики вышеперечисленных показате-

**Рис.1 Гидрограф УРОВНЕЙ Р. ВОЛОГДА
В СТВОРЕ ВОДОЗАБОРА ЗА 1994 Г.**

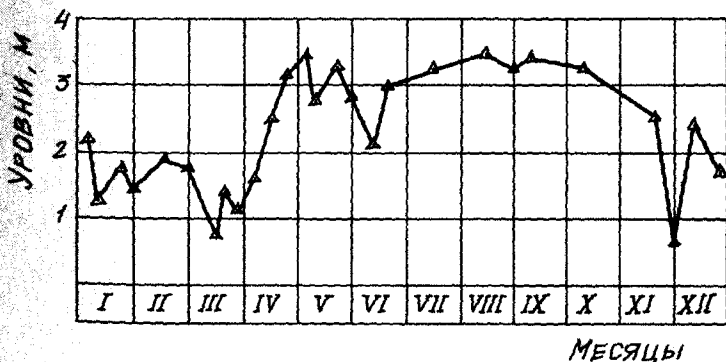


телей качества играют почвы и подстилающие грунты, покрывающие водосборы р.Вологды и оз.Кубенское - это подзолистые почвы разной степени оглеения, сформировавшиеся на ледниковых отложениях, по механическому составу - глины, суглинки, супеси. Такие почвы не содержат большого количества легкорастворимых хлоридов и сульфатов. Растворимые соединения представлены в них карбонатными формами кальция, поэтому при прохождении через почвогрунты атмосферных осадков по пути к речным руслам и озерным ваннам формируются гидрокарбонатнокальциевые воды малой и средней минерализации (до 500 мг/л в соответствии с классифи-

Рис. 2 Динамика цветности, мутности, окисляемости, содержания хлоридов кальция и магния в исходной воде р. Вологда в течение 1994 г.



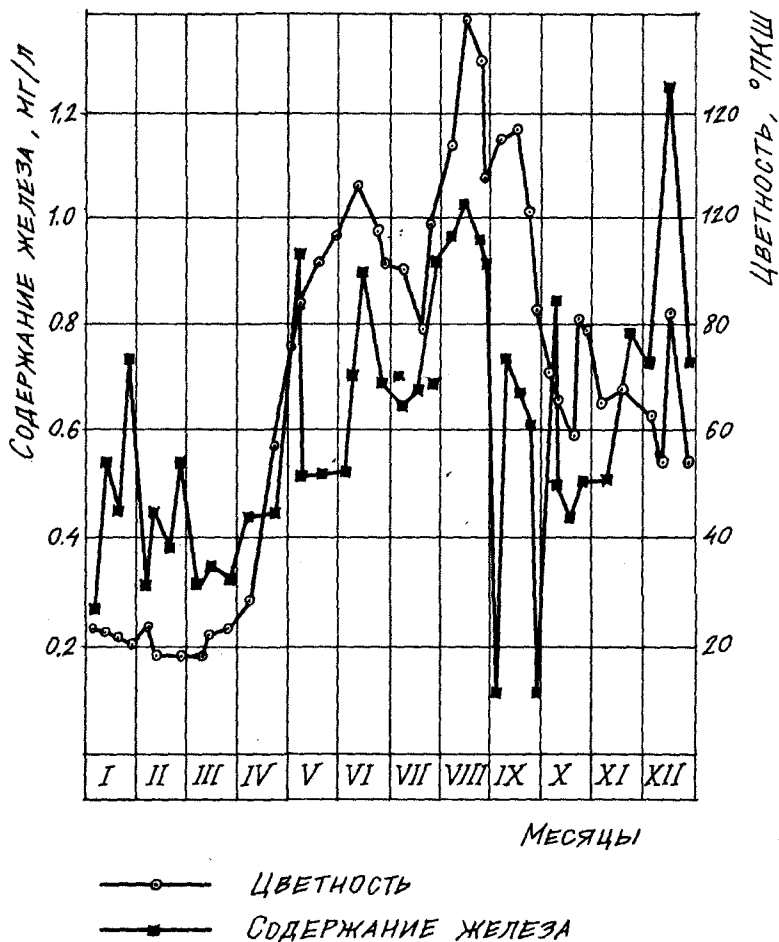
Рис. 3 Гидрограф уровней р. Вологды в створе водозабора за 1993 г.



1278443

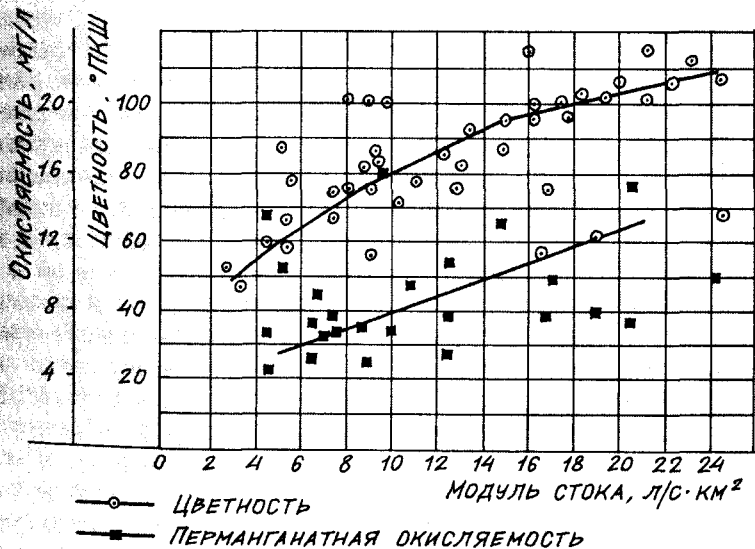
ВОЛОГДА, КАМА

Рис. 4 Динамика содержания железа и цветности в речной воде р. Вологда в створе водозабора



кацией О.А. Алекина). Указанные выше черты гидрохимического режима водоисточников г.Вологды типичны для всех фаз водного режима, хотя степень выраженности, как и величина минерализации для различных фаз, различна. Это различие коррелирует с преобладанием в питании водных объектов в одни сезоны грунтовых (летняя, зимняя межень), другие сезоны (весенне половодье) - поверхностных вод с водосборов. Доминирующую роль природных составляющих в формировании гидрохимического режима по ряду показателей подтверждает наличие зависимости от модуля стока показателей цветности и мутности воды р.Вологды (рис. 5). Сравнительный анализ рядов показателей качества воды р.Вологды и оз.Кубенское демонстрирует наличие схожих тенденций в сезонной

Рис. 5 Зависимость цветности исходной воды и перманганатной окисляемости исходной воды от модуля стока водосбора р. Вологды



динамике содержания ингредиентов, однако, как видно из табл. 2, по показателям цветности, мутности, содержанию железа, органических соединений (ХПК, БПК, перманганатная окисляемость), соединений азота в воде оз.Кубенское отмечаются более высокие значения как среднего, так и максимального и минимального значений. Содержание органических соединений как в воде р.Вологды, так и оз.Кубенское превышает допустимые для водоисточников нормативы. Сравнительный анализ рядов цветности, содержания растворенного кислорода, ХПК и перманганатной окисляемости показывает, что динамика этих ингредиентов хорошо коррелирует друг с другом: в период половодья наблюдается тенденция к увеличению цветности, ХПК, БПК, перманганатной окисляемости и снижение содержания растворенного кислорода; на спаде половодья наблюдается плавное снижение ХПК, БПК, цветности, перманганатной окисляемости и увеличение концентрации растворенного кислорода. Изменение этих показателей полностью соответствует изменениям гидрологического режима водоисточников. Это связано с наличием органических веществ гумусового происхождения, окрашивающих воду в желто-коричневые тона. В период половодья гуминовые вещества, содержащиеся в лесной подстилке, перегнойном горизонте подзолистых почв и торфах болот, интенсивно поступают в водные объекты с поверхностным стоком. Заметное влияние на цветность воды оказывает содержание железа, которое в водах р.Вологды и оз.Кубенское превышает допустимые нормативы. В динамике содержания железа также значительную роль играют природные факторы, хотя содержание его в различные фазы водного режима изменяется в широких пределах и корреляция между содержанием железа и динамикой уровней в весенний период отсутствует, хотя средние величины его содержания в период половодья несколько выше, чем в период межени. Это свидетельствует о равной роли в формировании гидрохимического режима по содержанию железа как почвенно-грунтовой, так и поверхностной составляющей стока. Содержание железа в рассматриваемых водных объектах практически постоянно, независимо от фазы водного режима, превышает существующие для водоисточников лимитирующие показатели и влияет на привкус и цветность исходной воды.

Барьерные возможности существующих в г.Вологде водопроводных очистных сооружений позволяют обеспечить в определенных пределах снижение цветности, мутности, содержания железа, однако существуют ингредиенты, присутствующие в исходной воде, снижение содержания которых на типовых сооружениях нельзя гарантировать: это биогенные загрязнения, нефтепродукты, СПАВ, фенолы, тяжелые металлы (свинец, марганец, кадмий), мышьяк и т.п. Ранжированные ряды по этим показателям характеризуются высокими значениями относительных отклонений (50-90%), отсутствием корреляций с показателями гидрологического режима водных объектов и отсутствием каких-либо других закономерностей. Эти обстоятельства указывают на антропогенно-техногенное происхождение этих веществ. Сопоставление данных наблюдений Вологодского ЦГСЭН и МУП "Вологдагорводоканал" позволяет лишь констатировать факты присутствия в исходной воде этих видов загрязнений: для р.Вологды: фенола в количествах максимум 7070ПДК, в среднем - 6ПДК; СПАВ соответственно 6,3ПДК и 1,94ПДК; свинца - 7ПДК, периодически 1,47-1,70ПДК (повторяется в 30% случаев); для оз.Кубенское: фенола максимум 19ПДК, в среднем 2-3ПДК; кадмий периодически 2-3 ПДК (повторяется в 45% случаев). По данным ЦГСЭН, степень загрязнения воды р.Вологды и оз.Кубенское по средним значениям ингредиентов умеренная по показателям биогенного загрязнения и СПАВ, чрезвычайно высокая по фенолам и нефтепродуктам. Это подтверждают и данные МУП "Вологдагорводоканал" (табл. 2). Причины появления ингредиентов антропогенно-техногенного происхождения в водоисточниках различны: несоблюдение условий выпуска сточных вод водопользователями и водопотребителями, ненормируемый сток с селитебных территорий, сельскохозяйственных угодий, азротехногенные и т.п. Данные технологического контроля качества воды в створах водозабора не позволяют выявить источники поступления антропогенных загрязнений - для этого необходимы синхронные наблюдения за качеством воды в нескольких створах на водоисточниках. Построение гидрохимических профилей по результатам синхронных наблюдений за содержанием кадмия в нескольких створах по длине р.Сухоны позволили выявить азротехногенное происхождение этого ингредиента: присутствие его в воде отмечалось в периоды поло-

водья, летне-осенних паводков и летней межени, а в зимнюю межень кадмий в водах р.Сухоны отсутствовал. К сожалению, такого рода обобщения нельзя сделать для р.Вологды и оз.Кубенское из-за отсутствия исходных данных для построения гидрохимических профилей.

Выполненный анализ гидрохимического режима водоисточников г.Вологды позволяет сделать следующие выводы:

1. Водоисточники - р.Вологда и оз.Кубенское - характеризуются цветностью до 140-200 °ПКШ, перманганатной окисляемостью - до 25-40 мг/л, бихроматной окисляемостью - до 63-76 мг/л, содержанием железа - до 7,46-9,6 мг/л. Динамика этих показателей определяется природными факторами. Наиболее напряженными по этим ингредиентам периодами являются фазы весеннего половодья и летне-осенних паводков, а по содержанию железа - все фазы водного режима водоисточников.

2. Водоисточники г.Вологды имеют умеренную, высокую и чрезвычайно высокую степень антропогенно-техногенного загрязнения по показателям биогенных веществ, СПАВ, марганца, свинца, мышьяка, фенолов, кадмия, нефтепродуктов, бактериального загрязнения.

3. В гидрохимическом режиме р.Вологды и оз.Кубенское наблюдается не эпизодическое, а постоянное в подавляющем большинстве случаев несоответствие качества исходной воды и барьерных возможностей водопроводных очистных сооружений на базе осветлителей со взвешенным осадком и скорых песчаных фильтров. Это обуславливает необходимость поиска и испытаний более эффективных технологий водоподготовки, адекватных показателям качества поверхностных водоисточников.

2. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СООРУЖЕНИЙ ВОДООЧИСТКИ

2.1. Защитные функции современных водоочистных сооружений в условиях повышенных антропогенных нагрузок

Соответствующие технологии водоочистки, основанные на применении реагентов с последующей обработкой воды в отстойниках, микрофильтрах, осветлителях со взвешенным осадком, скорых фильтрах или контактных осветлителях и обеззараживании хлором, разработанные еще в 50...60-е годы, в настоящее время не справляются с повышенной антропогенной нагрузкой на водоисточники. О недостаточной эффективности традиционных очистных сооружений по удалению пестицидов свидетельствуют данные таблицы 3.

На многих существующих и реконструируемых водопроводах стала очевидной задача внедрения таких технологических схем очистки, которые в условиях резкого ухудшения физико-химических показателей исходной воды смогли бы нейтрализовать воздействие антропогенных факторов.

Как уже отмечалось, при первичном хлорировании загрязненных органическими веществами вод в них образуются канцерогенные соединения, например, тригалогенметаны (ТГМ), относящиеся к группе летучих галогенорганических соединений (ЛГС). Как показали исследования сотрудников кафедры водоснабжения Нижегородской архитектурно-строительной академии, на одной из водоочистных станций Нижнего Новгорода [6, 26], первичное хлорирование воды приводит к увеличению ЛГС от 242 мкг/л в исходной воде до 308 мкг/л в резервуаре очищенной воды, т.е. к превышению ПДК в пять раз. Аналогичные результаты получены сотрудниками ГНЦ ВОДГЕО при исследовании режимов работы станций очистки воды из рек Днепр, Дон, Волга, Вологда (табл. 4).

Исключить этот опасный для здоровья людей эффект и добиться снижения ТГМ до 60 мкг/л пытаются заменой первичного хлорирования на озонирование, снижением доз хлора до минимума с аммонизацией, подачей хлора в обеззараживаемую воду несколь-

Таблица 3

Эффективность очистки воды от пестицидов на традиционных очистных сооружениях

№ п/п	Наименование ингредиента	ПДК для санитарно-бытового использования, мг/л	Эффект очистки, %
1.	ДДТ	0.05	80-95
2.	Гексафен	0.01	не удаляется
3.	ГХЦГ	0.02	14-57 (с добавлением озона)
4.	Эндрет	-	35 (с добавлением озона)
5.	Дилдрин	-	55 (с добавлением озона)
6.	Соль 2,45-Т	1.0	63
7.	Паратион	-	20
8.	Ацетофос	0.63	не удаляется
9.	Тиофос	0.05	"-
10.	Хлорофос	0.05	"-
11.	ДДВФ	1.0	"-
12.	Карбофос	0.03	50
13.	Метафос	0.02	10
14.	Фосфамид	0.03	65

кими порциями, использованием жидкого гипохлорита вместо жидкого хлора, отказом от первичного хлорирования и применением безрегентных методов предочистки в биологических реакторах.

Однако, как показал обширный практический опыт озонирования воды на многих водопроводах Европы и исследования, выполненные учеными ГНЦ ВОДГЕО и НИИ КВОВ [11, 36], вопросы образования вредных для здоровья людей побочных продуктов озонлиза при обработке вод с различной степенью их загрязнения органикой, оптимального соотношения доз вводимых коагулянтов и озоноздушной смеси, технологических особенностей режима озонирования (число ступеней, место ввода и соотношение доз в разные периоды года) еще недостаточно изучены.

Для большинства существующих станций России и стран содружества независимых государств (СНГ) до настоящего времени

попытки улучшить очистку воды от примесей органического происхождения при минимальных затратах обычно ограничиваются использованием аэрации воды в смесителях и устройством в скорых фильтрах дополнительного слоя загрузки из гранулированного активированного угля высотой 0,3...0,6 м. Однако, как показал опыт применения в течение 15 лет гранулированного активированного угля, досыпаемого слоем до 30 см на поверхность скорых песчаных фильтров на водоочистной станции в г.Кишиневе, сорбционные свойства угля сохраняются не более 8 месяцев от момента его загрузки в фильтры [14]. Предварительное хлорирование воды перед смесителем позволяет лишь незначительно восстанавливать его сорбционные свойства. После 60...70 суток эксплуатации поверхность зерен угля покрывалась заметным неотмываемым слоем тонкодисперсной илистой взвеси, состоящей из окиси алюминия и других веществ, выносимых из отстойников. В дальнейшем угольный слой фильтра выполняет лишь роль верхнего крупнозернистого филь-

Таблица 4

Влияние первичного хлорирования поверхностных вод на образование хлорорганических соединений

№	Водоисточники (объекты)	Хлороформ ($CHCl_3$), мкг/л			Четыреххлористый углерод, (CCl_4), мкг/л		
		исходная вода	после I хлорирования	РЧВ	исходная вода	после I хлорирования	РЧВ
1.	р.Волга (С) 1992	25,3	190,9	71,8	4,0	158,0	80,0
2.	р.Днепр (З) 1991/92	59,2	152,66	50,1	146,0	1030,1	180,0
3.	р.Днепр (Д) 1991/92	11,1	164,1	140,2	26,6	196,1	404,6
4.	р.Вологда (В) 1993	2,65	114,0	41,1	отс.	2,7	1,6
5.	р.Дон (Р/нд) 1994	180 - (1069) июнь	275	75 82	<1,0		200
6.	р.Вологда, апрель 1994	8,9 8,2	59,4 38,9	83,1 23,74	1,5 0,7	4,45	4,45 1,5

трующего слоя. Регенерацию отработанного угля на крупных отечественных очистных станциях пока что не проводят из-за сложности процесса восстановления его свойств и большой стоимости необходимого для этого технологического оборудования. Досыпают фильтры новым слоем свежего угля АГ-3 по мере удаления отработавшего сорбента в среднем 1...2 раза в год на 20...25 см [11...14].

В практике подготовки питьевой воды сложного физико-химического состава с преобладанием органических загрязнений, предпочтение отдается окислительно-сорбционному методу, при котором на заключительном этапе продукты озонлиза улавливаются на сорбционных фильтрах с толщиной фильтрующего слоя из гранулированного угля до 1,5...2,0 м при крупности угля 1...2 мм и рабочей скорости фильтрования 7...10 м/ч.

Для сорбционных фильтров заводского изготовления в ГНЦ НИИ ВОДГЕО предложено использовать трехслойную загрузку из макро- и микропористого углей различных марок с толщиной слоев от 0,5 до 1,5 м каждый и крупностью зерен от 0,4 до 4,0 мм.

При скоростях фильтрования до 10 м/ч и периодической водовоздушной промывке верхнего слоя, фильтры обеспечивают необходимую доочистку воды в течение одного-полутора лет без химической или термической регенерации угля.

Известно, что частичная деструкция молекул органических веществ при окислении их озоном, может вызвать снижение эффекта их сорбции активированным углем. Особо опасны в этом отношении растворимые нелетучие и высококипящие средне- и высокомолекулярные органические соединения (углеводороды, СПАВ), способные образовывать комплексы и ассоциативы с тяжелыми металлами, хлором, фосфором и другими элементами.

В таких ситуациях использование озонирования, как метода очистки воды, малоэффективно. Вместо этого целесообразно использовать сорбционную доочистку на порошковых активированных углях (ПАУ). Ввод ПАУ, во избежание его непроизводительных потерь, необходимо осуществлять перед осветлительными фильтрами в течение 5...10 суток с дозами 10...20 мг/л в наиболее неблагоприятные по физико-химическим свойствам воды источника периоды [21, 41].

Широкому внедрению этого технологического приема препятствуют отсутствие простого в эксплуатации и экологичного оборудования для подготовки и дозировки ПАУ при обработке воды.

2.2. Эффективность работы станции очистки воды г. Вологды

Первые существующие очистные сооружения водопровода г.Вологды были построены по старой традиционной технологической схеме, включающей реагентное хозяйство, смесители, камеры хлопьеобразования, горизонтальные отстойники и скорые песчаные фильтры. Обеззараживание предусмотрено раствором газообразного хлора. Сооружения с общей производительностью $\approx 93,0$ тыс.м³/сут были построены по проекту Санкт-Петербургского Гипрокоммунводоканала в 1958...1970 годах.

В качестве основного водоисточника используется р.Вологда. Вода р.Вологды относится к категории маломутных цветных вод, загрязненных примесями антропогенно-техногенного происхождения. По данным базовой лаборатории Облводоканала Вологодской области, Центральной лаборатории МУП «Вологдагорводоканал» и ГНЦ ВОДГЕО, качество воды в период проведения опытно-промышленных исследований заметно ухудшилось по сравнению с характеристиками воды в период строительства станции. Об этом свидетельствует появление в летне-осенний период запахов землистого происхождения (до 2...3 баллов), цветности (до 90...100°ПКШ в 1990-1991 гг. и до 55...70°ПКШ в 1992 г.), свинца (до 0,045 мг/л), железа (до 0,65...0,73 мг/л в 1991 г.) и других ингредиентов (п. 1.2).

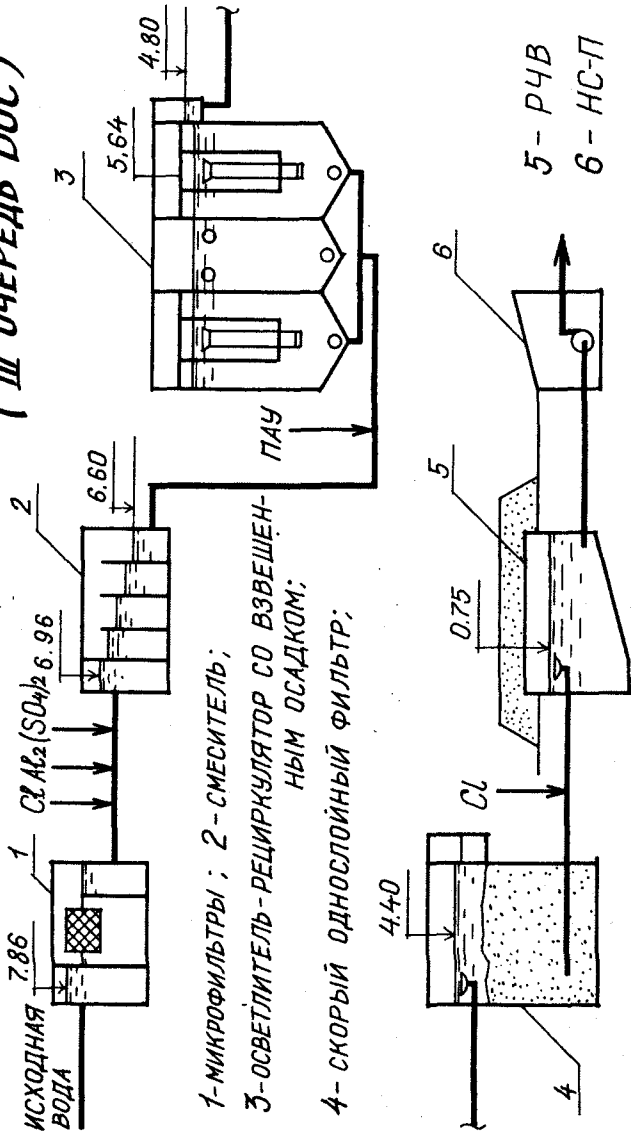
По рекомендациям ЛНИИ им.К.Д.Памфилова и Техническому проекту, утвержденному СМ РСФСР в 1983 году, Санкт-Петербургский Гипрокоммунводоканал разработал проект 4041р-2 12(3)-НВ «Расширение водопровода г.Вологды», предусматривающий расширение водоочистной станции, включая третий блок, с производительностью до 140 тыс.м³/сут.

За основные исходные данные по качеству воды были приняты: цветность - до 90...200°ПКШ; щелочность - до 1,4...3,0 мг-экв/л; жесткость общая - до 2,3...3,5 мг-экв/л, мутность до 15...20 мг/л.

Технологическая схема очистки воды, принятая в проекте, приведена на рис. 6.

Исходная вода от насосной станции I подъема поступает на микрофильтры (2 рабочих и 1 резервный) с диаметром барабана 3,0 м и длиной 3,72 м с расчетной производительностью по 1,6

Рис. 6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОЧИСТКИ ВОДЫ Г. ВОЛОГДЫ
(III ОЧЕРЕДЬ В ОС)



тыс.м³/час каждый. Микрофильтры предназначены для удаления из речной воды планктона, присутствие которого в водоисточнике является одной из причин возникновения травянистых запахов и привкусов воды в теплый период года. Промывка микрофильтров осуществляется водой из хозяйственно-питьевого водопровода с понижением напора до 30 м.

После микрофильтров вода подается на смеситель дырчатого типа. В случае отключения микрофильтров подача исходной воды осуществляется непосредственно в смеситель по дополнительному трубопроводу. Смеситель выполнен в виде лотка шириной 2,2 м и длиной 9,0 м с тремя вертикальными перегородками. Он служит для равномерного смешения реагентов с обрабатываемой водой.

Подача реагентов в смеситель осуществляется в определенном порядке: полиакриламид - перед первой перегородкой, коагулянт $(Al(SO)_2 \cdot 18H_2O)$ одновременно с известью перед третьей перегородкой, угольная пульпа - в трубопровод, подающий воду из смесителя на осветлители. Приготовление растворов реагентов производится в здании реагентного хозяйства. С помощью насосов-дозаторов они подаются к местам ввода. Кроме обработки выше перечисленными реагентами очищаемая вода обеззараживается хлорированием жидким хлором: первичное хлорирование дозой 5 мг/л с подачей хлорной воды в трубопровод перед микрофильтрами, а при их отключении - в трубопровод, подающий воду в смеситель; вторичное хлорирование дозой 1 мг/л с подачей хлорной воды в трубопровод фильтрата перед резервуаром чистой воды. Сюда же вводится известь для стабилизации воды.

Обрабатываемая вода после смешения с реагентами поступает на 6 осветлителей-рециркуляторов. Перемещаясь сверху вниз, она проходит через слой взвешенного осадка, ранее образовавшегося при обработке этой же воды. С помощью рециркуляторов осуществляется постоянное перемещение этой смеси в сооружении. По истечении определенного промежутка времени объем взвешенного слоя осадка увеличивается за счет накопления скоагулированных загрязнений, извлекаемых из воды. Избыточный осадок из осветлителей-рециркуляторов отводится на сооружения по обработке осадка с последующим его уплотнением, обезвоживанием и утилизацией. Каждый из осветлителей-рециркуляторов состоит из двух

рабочих камер (размерами в осях 12,28×3,0 м) и осадкоуплотнителя (размерами в осях 12,28×2,2 м), разделяемых на три отсека. В каждом отсеке установлены специальные устройства-рециркуляторы, состоящие из эжектора, в виде сопла, расширителя и направляющего аппарата в виде двух вставленных одна в другую, жестко скрепленных труб разного диаметра. Рециркуляторы обеспечивают улучшение процесса хлопьеобразования за счет циркуляции и контакта хлопьев с ранее образованным осадком.

Осветленная вода отводится для дальнейшей обработки на скорые однослойные фильтры. Предусмотрено 6 фильтров с общей полезной площадью фильтрования 364,8 м² каждый с размерами 8,2×10,0 м в осях. При нормальном режиме работы скорость фильтрования принята 8 м/ч, при отключении двух фильтров (на промывку и ремонт) - 12,0 м/ч, при отключении одного фильтра на промывку - 9,6 м/ч.

Загрузка фильтра выполнена кварцевым песком с крупностью зерен 0,7..1,2 мм и толщиной слоя 1600 мм и гравием: с крупностью зерен 10...5 мм толщиной 200 мм; 20...10 мм - 200 мм; 40...20 мм - 250 мм. Фильтрование осуществляется сверху вниз. По мере накопления загрязнений в толще загрузки и ухудшения качества фильтрата или достижения предельных потерь напора в загрузке фильтры попеременно выводятся на промывку. Предусмотрена водовоздушная промывка с низким горизонтальным отводом промывной воды, которая осуществляется в три этапа:

I этап: продувка воздухом с интенсивностью 20 л/с в течение 2 минут (расход воздуха составляет 73 м³/мин); через воздушную распределительную систему из полиэтиленовых перфорированных труб диаметром 25 мм;

II этап: совместная водо-воздушная промывка в течение 7 минут с интенсивностью подачи воздуха 2 л/с·м², воды - 3 л/с·м²;

III этап: подача воды с интенсивностью 6 л/с·м² в течение 6 мин.

В качестве водораспределительной системы предусмотрены стальные перфорированные трубы в виде системы большого сопротивления. Отвод промывной воды осуществляется через затопленный водослив.

После фильтров очищенная вода поступает в резервуар чистой воды.

Осадок, образующийся при очистке воды, подвергается следующей обработке:

1) гравитационному уплотнению с медленным перемешиванием с помощью лопастных мешалок с применением ПАА (который вводится перед осадкоуплотнителем в дозе 0,05...0,06% от массы сухих веществ и способствует повышению водоотдачи);

2) обезвоживанию до 84...86% влажности на ленточных фильтр-прессах фирмы "Бельмер" с предварительным смешением осадка (98,0...98,2%) с ПАА дозой 0,5...0,7% от массы сухих веществ осадка в течение 1...1,5 минут при скорости 60...80 об/мин.

В настоящее время особо остро стоит проблема очистки воды в период весеннего половодья (апрель) и осенних паводков (октябрь—ноябрь), когда повышается окисляемость (до 9...12 МГО /л), цветность (до 90...110° ПКШ), содержание нефтепродуктов (до 0,4...0,8 мг/л), СПАВ (до 3...6 мг/л). В эти периоды увеличивается вероятность образования в процессе обработки воды ТГМ, обладающих канцерогенной и мутагенной активностью. Этим и обусловлена необходимость совершенствования традиционных технологических приемов и методов обработки воды, с целью получения питьевой воды надлежащего качества, соответствующего требованиям Государственного стандарта независимо от колебаний показателей качества в водоисточнике. Как уже отмечалось ранее, одним из методов, позволяющих повысить эффект очистки, является озонирование, обеспечивающее окисление органических веществ, быстрое и надежное обеззараживание и значительное улучшение органолептических свойств воды.

Исходя из этих соображений, на основании технического задания МУП «Вологдагорводоканал» на разработку проекта реконструкции и техперевооружения существующих водоочистных сооружений Государственным проектным институтом «Водоканалпроект» г.Санкт-Петербурга были выполнены предпроектные материалы, предусматривающие замену первичного хлорирования на обработку воды озоном. Это позволит значительно снизить расход хлора и дозу коагулянта, исключить возможность образования канцерогенных веществ (ТГМ) и будет способствовать удалению трудноокисляемых молекул нефтепродуктов, фенолов и других видов органики после окисления при двухступенчатом фильтровании с использованием коагулянта.

Максимальная доза озона для воды реки Вологды в проекте принята равной 3 мг/л в соответствии с указаниями СНиП 2.04.02-84, п. 6.171 и рекомендациями ЛНИИ АКХ N 219 от 06.06.92. Предложе-

но два варианта решения строительства станции озонирования. Согласно I варианту, станция озонирования строится на производительность реконструируемых водоочистных сооружений $Q = 100$ тыс.м³/сут. - I очередь, на производительность расширяемых и проектируемых водоочистных сооружений $Q = 200$ тыс.м³/сут. - II очередь. При этом объем контактной камеры на первую очередь потребуется в 2 раза меньше, чем на вторую, время контакта озона с водой $t = 10$ минут. Согласно II варианту, станция озонирования строится на производительность реконструируемых и расширяемых водоочистных сооружений $Q = 170$ тыс.м³/сут. - I очередь, на производительность проектируемых водоочистных сооружений $Q = 130$ тыс.м³/сут. - II очередь. При этом контактная камера как для I, так и для II очереди потребуется одного и того же размера.

Второй важной проблемой, возникающей при очистке воды для г.Вологды, являются длительные периоды низких температур воды в источниках. При таком температурном режиме исходной воды в сочетании с высокой цветностью и малой мутностью процесс коагуляции высокоустойчивых коллоидов и взвеси при использовании традиционной технологии очистки воды протекает "вяло". На сооружениях III очереди ВОС г.Вологды эту задачу планировалось решить путем оборудования осветлителей коридорного типа специальными рециркуляторами осадка. В эксплуатации сооружений со слоем взвешенного осадка, как известно, требуется постоянно поддерживать баланс загрязнений, поступающих с исходной водой, с одной стороны, и образующихся, циркулирующих и выносимых в осадкоуплотнитель взвешенного слоя, с другой стороны. На этот баланс влияют скорость восходящего потока, температура воды, временные колебания поступающих на сооружения расходов воды. Как показал опыт эксплуатации вновь построенных сооружений третьей очереди ВОС г.Вологды, увеличение скорости восходящего потока воды и снижение площади зон осветления осветлителей коридорного типа за счет устройства рециркуляторов для условий Вологодской очистной станции оказалось ошибочным. В результате этого фактическая производительность блока мощностью 90 тыс.м³/сут., при которой удается достичь проектного эффекта очистки в паводковые периоды, оказалась в 2...2,5 раза ниже и не превышает в настоящее время 30...35 тыс.м³/сут. (подробнее в п. 4.4).

4. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ЦВЕТНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ АНТРОПОГЕННЫЕ ПРИМЕСИ

Новые технологии очистки природных цветных маломутных вод, содержащих компоненты антропогенного происхождения, разработаны и испытаны в последние годы в лаборатории очистки природных вод и инженерных сооружений водоподготовки ГНЦ ВОДГЕО совместно с МУП «Вологдагорводоканал».

Они основаны на рациональном сочетании первичного озонирования, коагулирования, контактного хлопьеобразования и осветления в зернистом инертно-сорбционном слое. Обеззараживание воды осуществляется озоном и хлором. В случае необходимости фильтры специальной конструкции позволяют осуществлять вторичное озонирование без дополнительных контактных резервуаров. Реализация этих технологий на практике позволяет решать проблемы подготовки питьевых вод в условиях повышенных антропогенных нагрузок на водоисточники. Многолетние испытания усовершенствованной технологии и новых сооружений водоподготовки проводились на водах рек Вологды, Волги и озера Кубенское. Параллельно при использовании предозонирования на первой стадии предочистки испытывались биологическая предочистка с прикрепленной микрофлорой, совместная обработка воды озоном и Уф-облучением и озоном с пироксидом водорода. В случае опасности вирусного заражения воды постозонирование и хлорирование воды может дополнительно осуществляться в РЧВ. Особенностью этих технологий является высокая маневренность в управлении, отсутствие стационарных сорбционных фильтров, повышенная экологичность, фактическое сочетание в одном очистном сооружении - двухкамерном осветлительно-сорбционном фильтре - контактного осветления, вторичного (дробного) коагулирования, озонирования и глубокой сорбционной доочистки.

4.2. Исследования на воде р. Вологда и оз. Кубенское

Оценка качества воды из р. Вологда и оз. Кубенское в 1991...1995 гг. позволили выявить периодическое появление в этих водах нефтепродуктов, ПАВ, фенолов и тяжелых металлов помимо постоянно высоких показателей мутности, цветности, окисляемости, содержания железа и марганца.

Как видно из таблиц 2, 5 исходная вода маломутная, цветная, среднеминерализованная с незначительным содержанием хлоридов (до 5,6 мг/л) и сульфатов (22,6 мг/л). Концентрация нефтепродуктов в воде в период проведения исследований наблюдалась на уровне 0,38 мг/л. Содержание железа (0,66 мг/л) превышает нормативное почти в 2 раза. Показатели ХПК_{перм} и ХПК_{бихр} (6,4 и 24,0 мг/л), АПАВ (0,76 мг/л) и НПАВ (0,88 мг/л) свидетельствуют о присутствии в природной воде органических соединений, часть из которых способна

Таблица 7

Характеристика воды р.Вологды до и после очистки

№ п/п	Показатели	Исходная вода	Озон, механический фильтр, озон	Озон, мех. фильтр, озон, уголь, озон
1.	pH	7,5	7,9	7,8
2.	XПК _{бихр.} мг/л	24,0	<20,0	не обн.
3.	XПК _{перм.} мг/л	6,4	4,6	1...2
4.	Сухой остаток, мг/л	120,3	102,3	-
5.	Прокаленный остаток, мг/л	58,5	46,6	-
6.	ППП, мг/л	61,8	55,7	-
7.	Цветность, °ПКШ	28,0	6,0	2,0
8.	Мутность, мг/л	4,0	<1,0	отс.
9.	Сульфаты, мг/л	22,6	20,6	21,0
10.	Хлориды, мг/л	5,6	6,0	6,0
11.	Нитраты, мг/л	2,0	2,0	0,4
12.	Нитриты, мг/л	0,018	0,018	0,007
13.	АПАВ, мг/л	0,76	0,15	0,1
14.	НПАВ, мг/л	0,88	0,51	0,075
15.	Нефтепродукты, мг/л	-	-	-
16.	Соединения фенольного характера, реагирующие с 4-аминоантипирином, мг/л	0,0006	не обн.	не обн.
17.	CHCl ₃ , мкг/л	17,2	17,2	2,65
18.	CCl ₄ , мкг/л	отс.	отс.	отс.
19.	Железо, мг/л	0,66	0,35	0,04
20.	Аммиак, мг/л	не обн.	не обн.	не обн.
21.	Медь, мг/л	не обн.	не обн.	не обн.
22.	Формальдегид, мг/л	не обн.	не обн.	не обн.
23.	Остаточный озон, мг/л	-	-	-
24.	Взвешенные вещества, мг/л	31,0	отс.	отс.

образовывать при хлорировании воды высокотоксичные канцерогенные вещества: тригалогенметаны, наиболее характерными из которых являются хлороформ CHCl₃ и четыреххлористый углерод CCl₄.

По данным анализов мутность воды в периоды паводков и осенних дождей повышалась от 2...4 мг/л до 13...50 мг/л, цветность достигла от 28 до 96°ПКШ. Потеря при прокаливании сухого остатка (61,8 мг/л) говорит о наличии в воде до 50% веществ органического происхождения. Сопоставление разовых анализов качества смешанной воды из реки Вологды и оз.Кубенское с динамикой изменения показателей качества воды по мутности, цветности, ХПК_{бихр} и нефтепродуктам, выполненных БЛ МУП «Вологдагорводоканал», свидетельствует о более высокой степени загрязнения воды, забираемой на очистку в течение года по мутности (14 мг/л, октябрь 1992 г.), по цветности (90-130°ПКШ, май 1992 и 1994 гг.), по ХПК бихроматное (50 мг/л, март 1993 г.), по нефтепродуктам (0,45 мг/л, сентябрь 1991 г.), НСПАВ (до 6,0 мг/л, апрель 1994 г.).

После первичного хлорирования воды р.Вологда с дозой хлора 3...4 мг/л, количество хлороформа выросло до 114 мкг/л, четыреххлористого углерода - до 3,2 мкг/л при цветности воды до 28°ПКШ и ХПК_{перм} 9 мг/л (ХПК_{бихр} - до 28...30 мг/л).

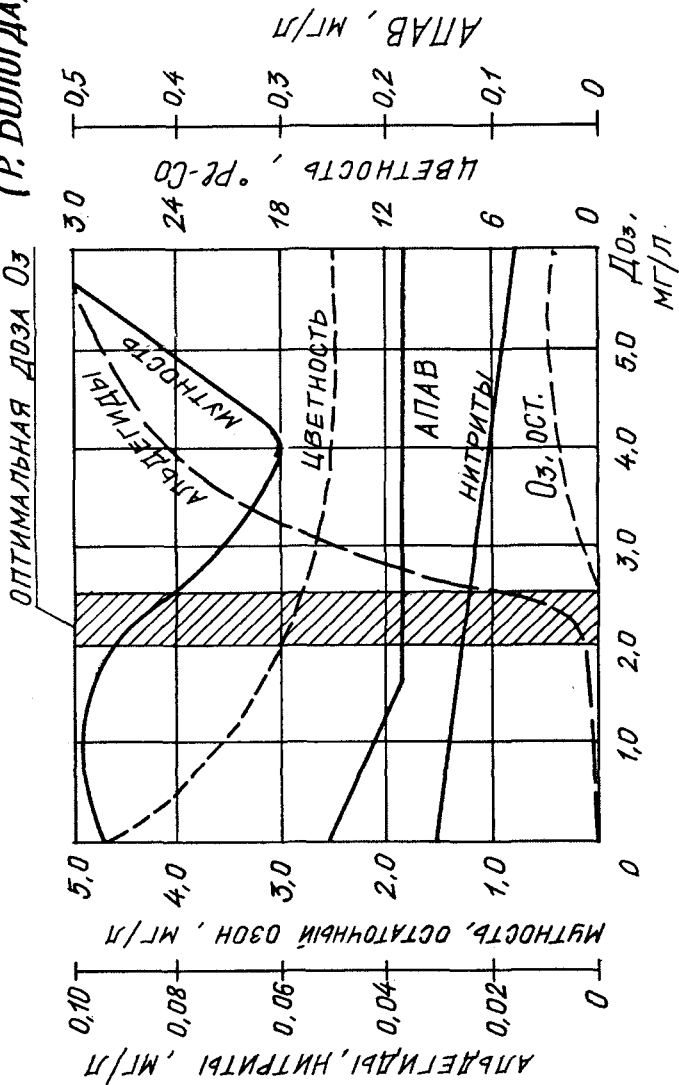
Замена первичного хлорирования на озонирование с дозой озона 2 мг/л, как и в случае с водой из р. Волги, позволила предотвратить образование ТГМ и существенно улучшить качество воды. Содержание хлороформа в исходной воде после первичного озонирования не превышало 12 мкг/л.

С учетом установленной оптимальной дозы озона на стадии предозонирования (рис. 16) в процессе исследований были проверены следующие технологические схемы:

а) предозонирование озono-воздушной смесью с концентрацией озона 10...15 мг/л оптимальной дозой 2...2,5 мг/л и временем контакта озono-воздушной смеси с водой 15 минут. Обработка воды 10%-ным раствором сернокислого алюминия с дозой 15...20 мг/л с последующим отстаиванием ($t = 2$ ч) и фильтрованием через фильтр с горелой породой толщиной слоя 0,55 м и диаметром зерен 0,8...1,0 мм. Скорость фильтрования составляла 5...6 м/ч, вторичное озонирование отфильтрованной воды с дозой озона 1 мг/л (время контакта 4...5 минут);

б) предозонирование с дозой озона 2 мг/л, смешение и контакт с водой в течении 15 мин., фильтрование со скоростью 5...6 м/ч через горелую породу с толщиной слоя 0,55 м и диаметром зерен 0,8...1,0 мм, вторичное озонирование отфильтрованной воды с дозой озона 1 мг/л

Рис. 16 Выбор дозы озона на стадии предозонирования (р. Вологда)



(время контакта 4-5 мин), фильтрование со скоростью 5...6 м/ч через слой активированного угля марки АГ-3 толщиной слоя 1 м и диаметром гранул угля 1...2 мм, третичное (вирусоедное) озонирование воды, прошедшей через угольный фильтр, который работал в режиме био-реактора дозой озона 2 мг/л (время контакта 4...5 минут).

Показатели качества воды после очистки по двум различным схемам представлены в табл. 7. Результаты анализов показали, что после предозонирования, фильтрования и вторичного озонирования цветность воды уменьшилась с 28°ПКШ до 6°ПКШ, мутность - с 4 до 1 мг/л, содержание железа снизилось почти в 2 раза. Обработка воды по другой технологической схеме обеспечила 70%-ное снижение концентрации АПАВ, 43%-ное снижение концентрации НПАВ, снижение ХПК до 4,6 мг/л и ХПК^{бихр} до 20 мг/л. Содержание в очищенной воде хлоридов, сульфатов, нитритов, нитратов и хлороформа осталось неизменным.

Использование дополнительной сорбционной очистки на активных углях для задержания продуктов озонлиза позволяет получить практически безвредную воду с хорошими вкусовыми качествами: цветность воды снижается до 2°ПКШ, АПАВ и НПАВ - до 0,1 и 0,075 мг/л, $CHCl_3$ - до 2,65 мкг/л. Опытами установлена целесообразность ввода озона на стадии как предозонирования, так и постозонирования. В случае наличия патогенных вирусов, озон может быть дополнительно введен и в РЧВ.

В апреле 1994...1996 годов были проведены исследования, когда цветность воды в р.Вологда достигала 70°, а в отдельные сутки - до 120°ПКШ, концентрация аммиака составила 1,75 мг/л, НСПАВ - до 6,0 мг/л, окисляемость перманганатная - до 14,7 мг/л. Температура воды не превышала 1,5...3°C. Озонирование исходной воды на первой стадии обработки с дозой озона до 1,7 мг/л и временем контакта 8...12 минут в реакторе первичного озонирования позволила снизить цветность без применения коагулянта на 40...65%. При повышении дозы озона до 3...4 мг/л и продолжительности контакта озона с водой до 12 минут эффективность обесцвечивания достигала 70...76% при цветности исходной воды 71°ПКШ (табл. 8). Необходимая продолжительность контакта обрабатываемой воды с озono-воздушной смесью должна быть не менее 12...15 минут.

Для оценки эффективности префильтра с плавающей пенополистирольной загрузкой и фильтра доочистки с кварцевой загрузкой были проведены исследования обработки воды по схеме

вод, содержащих антропогенные примеси

с предварительным озонированием, реагентной обработкой и двухступенным фильтрованием с подзарядкой префильтра с плавающей загрузкой дробленным гранульным сорбентом СГН-30.

Результаты этих исследований показали, что по цветности, мутности, окисляемости, содержанию аммиака и СПАВ вода соответствовала требованиям, предъявляемым в проекте нового ГОСТа «Вода питьевая» (взамен ГОСТа 2874-82).

Таблица 8

* Результаты анализа воды до и после первичного озонирования (апрель 1994 г.)

Показатели	Исходная речная вода	После первичного озонирования	
		Доз. = 3,3 мг/л $t_k = 12,6$ мин.	Доз. = 1,7 мг/л $t_k = 8$ мин.
рН	7,5		
Взвешенные вещества, мг/л	33,0		
Окисляемость перм., мгО ₂ /л	14,7	11,0	12,2
Щелочность, мг-экв/л	0,9	0,9	0,9
Аммиак, мг/л	1,75	1,5	1,0
Нитраты, мг/л	1,0	0,86	0,86
Нитриты, мг/л	0,018	0,014	0,014
Фосфаты, мг/л	0,4	0,37	0,38
Хлориды, мг/л	5,1	-	-
Цветность, оПКШ	71,2	30,1	38,3
Мутность, мг/л	13,0	12,8	13,9
АСПАВ, мг/л	0,2	0,2	0,2
НСПАВ, мг/л	6,0	3,0	5,6
Фенольные соединения, мг/л	0,06	не опр.	не опр.
Альдегиды (по формальдегиду), мг/л	отс.	не опр.	не опр.
Коли-индекс	10000	менее 3	менее 3
Микробное число	не опр.	5	5

Как видно из графиков, представленных на рис. 17, последующее после озонирования и обработки воды раствором серноокислого алюминия с концентрацией 8...10% и дозой до 20 мг/л фильтрование через контактный пенополистирольный префильтр со скоростью 9,5 м/ч, а затем через вторую ступень фильтра с кварцевой загрузкой со скоростью 5...6 м/ч обеспечило стабильное качество питьевой воды по основным параметрам в течение всего фильтроцикла. На рис. 17: 1 - исходная вода, 2 - после озонирования, 3 - после префильтра с плавающей загрузкой, 4 - после фильтра с кварцевой загрузкой.

Графики роста потерь напора в плавающей и тяжелой фильтрующих загрузках (рис. 18) на протяжении всего фильтроцикла показывают, что даже при повышенной цветности (до 70°ПКШ) и скорости фильтрования на второй ступени (до 7,8 м/ч) при вводе дробленого активированного сорбента в верхние слои префильтра из расчета с $D_{\text{сгн}} \leq 20...30$ мг/л суммарные потери на префильтре составляют 1,9 м, а на фильтре доочистки - 1,1 м.

4.3. Технологическая схема подготовки питьевых вод

На основании выполненных исследований в производственных условиях была предложена технология подготовки питьевой воды из реки Вологды и оз.Кубенское, подвергающихся периодически повышенным антропогенным нагрузкам, включающая (рис. 19):

- первичное озонирование (резерв - первичное хлорирование);
- коагуляцию (флокуляцию) воды после первичного озонирования в центральном кармане двухкамерного фильтра;
- фильтрование через префильтр с плавающей инертной загрузкой и сорбционной составляющей в виде дробленых гранул АУ, вводимых в трубопровод исходной воды перед префильтром большой грязеемкости;
- доочистку на второй ступени фильтра с загрузкой из кварца, керамзита, цеолита или горелой породы (по месту применения и наличию сырьевых ресурсов);
- вторичное озонирование воды в РЧВ (резервное);
- хлорирование с возможностью ввода хлора перед и после РЧВ.

В соответствии с рекомендованной технологией исходная вода (рис. 19) по трубопроводу 1 подается во входную камеру 2, обору-

Рис. 17 Эффективность очистки воды
 р. Вологда по технологии с первичным озонированием и двухступенчатым контактным
 фильтрованием в течение фильтроцикла
 ($Д_{O_3}=2,5$ мг/л, $С_{O_3}=6,5$ мг/л, $Д_{К}=20$ мг/л,
 $t_{К}=10$ мин, $V_I=9,5$ м/ч, $V_{II}=5,1-6,0$ м/ч, $t_{Ф}=6^{\circ}C$)

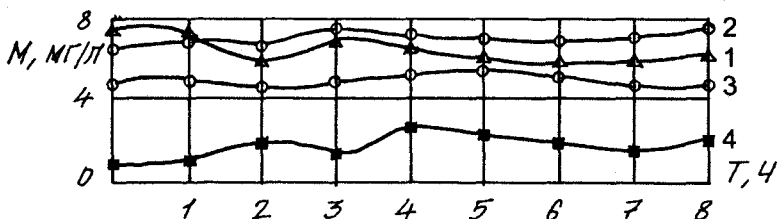
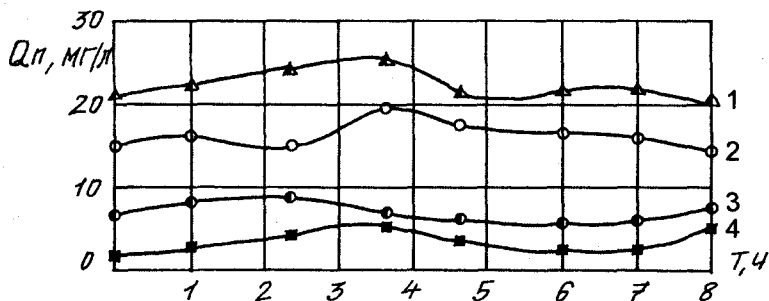
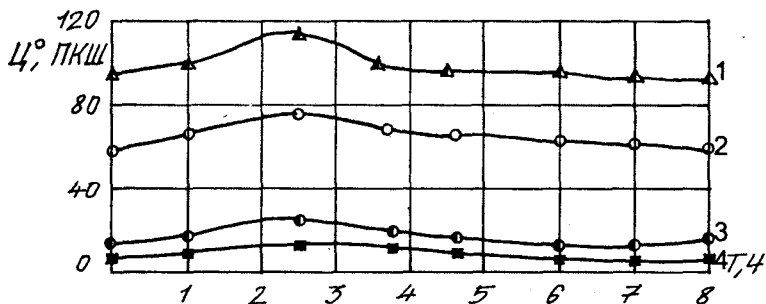


Рис. 18 Зависимости $h_t = f(T)$ при разных режимах водообработки: А) на префильтре; Б) на фильтре.

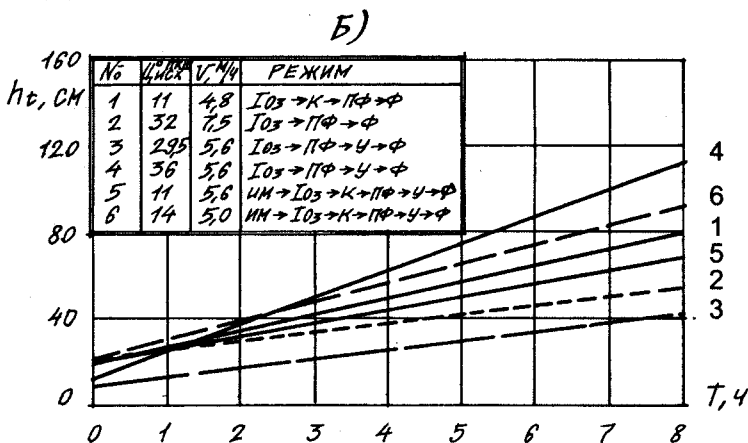
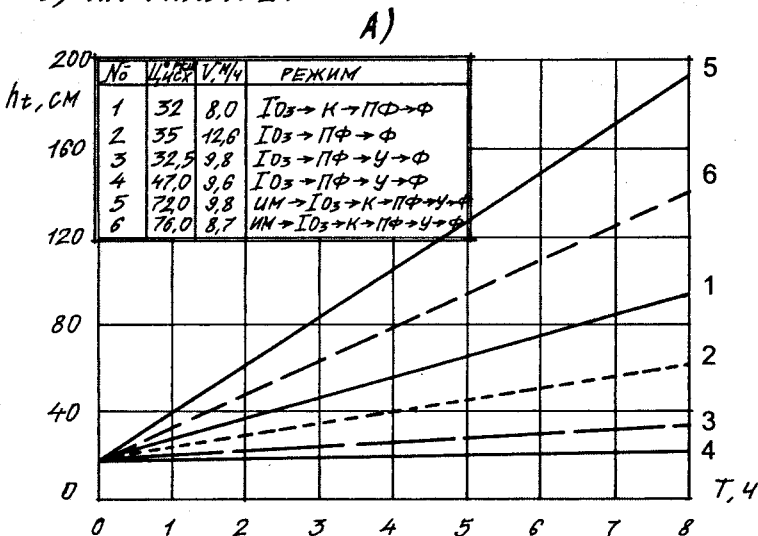
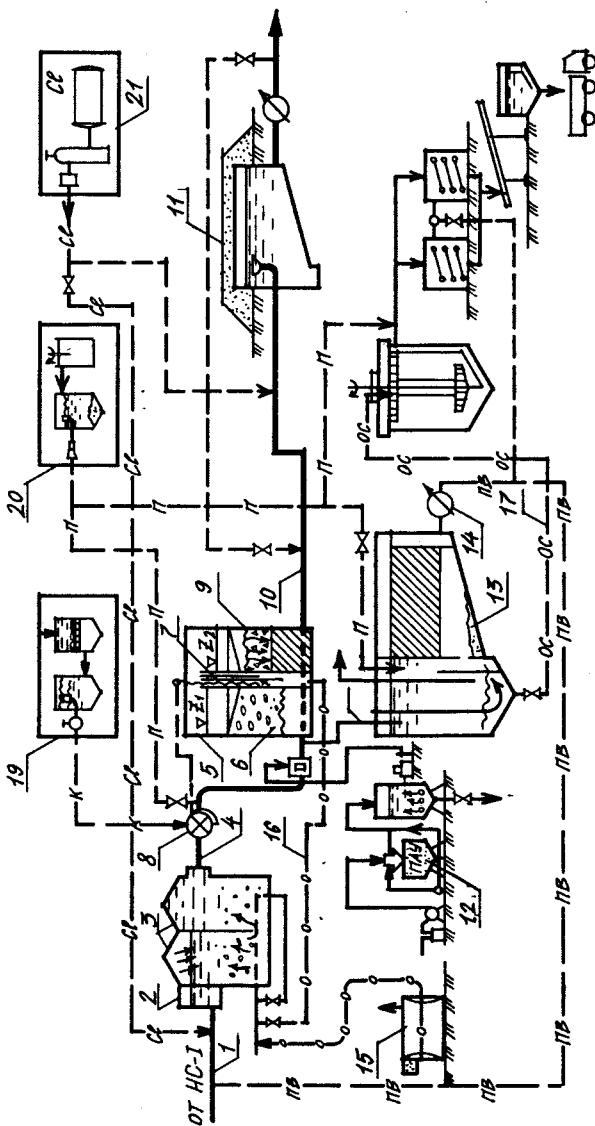


Рис. 19 Технологическая схема подготовки воды Р. Вологда и оз. Кубенское, подвергшихся повышенным антропогенным нагрузкам (условные обозначения смотри по тексту)



дованную съемными сетками для задержания грубодисперсных примесей с размером ячеек 2x2 мм, а оттуда - на контактный резервуар 3 для первичного озонирования. Последний состоит из двух камер, разделенных вертикальной перегородкой, каждая из которых оборудована автономными системами смешения воды с озono-воздушной смесью.

После первичного озонирования вода поступает по трубопроводу 4 на префильтр 5 с плавающей загрузкой из гранул дробленого пенопласта или пенополистирола двухкамерного фильтра 6, а затем в его центральный канал 7, разделенный вертикальной перегородкой на две секции. В первой секции канала вода с помощью трубного смесителя 8 обрабатывается растворами коагулянта и флокулянта, поступающих из реагентного хозяйства 19, 20, а затем поступает во вторую секцию канала и на двухслойный фильтр с тяжелой зернистой загрузкой 9. Очищенная вода по трубопроводу 10 поступает в РЧВ 11, где обрабатывается хлором.

На случай экстремальных ситуаций: при резком ухудшении качества воды, появлении в ней после первичного озонирования продуктов озонлиза, потребности удаления патогенных вирусов и бактерий, а также на случай выхода из строя или отключения на плановый ремонт озонаторной станции, в технологической схеме предусмотрен блок 12 предподготовки и дозирования дробленого мелкогранульного сорбента или угольной пульпы непосредственно в трубопровод исходной воды префильтра. В отличие от традиционных технологий порошкового углевания воды, в предлагаемой схеме эта задача решается путем более эффективного использования сорбента в толще крупногранульной высокопористой загрузки в течении всего фильтроцикла.

Промывная вода после двухкамерного фильтра сбрасывается по трубопроводу 18 в сооружение 13 для ее отстаивания. Часть очищенной промывной воды после отстаивания насосом 14 подается в трубопровод исходной воды перед входной камерой 2. Осадок из сооружения 13 по трубопроводу 17 подается на уплотнение и обезвоживание.

С целью экономии трудозатрат и одновременной поддержки санитарной надежности станции в РЧВ предусмотрена возможность как вторичного озонирования чистой воды (подача озono-воздушной

смеси по трубопроводу 16), так и ее хлорирования. В первом случае, после озонирования воды в РЧВ, для поддержания надлежащего санитарного состояния водопроводных сетей воду хлорируют путем ввода хлорной воды во всасывающий трубопровод агрегатов насосной станции второго подъема.

Таблица 10
 Результаты испытаний установки Zh-Cw по очистке воды из
 р.Вологды.
 Производительность установки 0,2 м³/час.
 05.06.98

№ п/п	Показатели качества воды	9 час. 00 мин. р.Вологда	10 ч. 00 мин. РЧВ	16 ч. 00 мин. РЧВ
1.	Цветность, °ПКШ	65,7	0	0
2.	Мутность, мг/л	0,93	0,052	0
3.	Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	12,4	0,8	0
4.	Азот аммонийный, мг/л	0,57	0	0
5.	Азот нитритный, мг/л	0,023	0,015	0,012
6.	Остаточный алюминий, мг/л	-	0	0
7.	Запах, баллы	3	отсутствие	отсутствие
8.	рН	7,95	7,14	7,14
9.	Хлориды, мг/л	6,2	9,2	8,4
10.	Жесткость, мг-экв/л	3,0	3,0	3,0

ВЫСОКОЦВЕТНЫХ МАЛОМУТНЫХ ВОД

04.06.98 $Q_{в} = 1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$

№ п/п	Показатели качества воды	9 час.00 мин. р.Вологда	10 ч. 00 мин. РЧВ	16 ч. 00 мин. РЧВ
1.	Цветность, °ПКШ	65,7	2,74	0,68
2..	Мутность, мг/л	1,65	0	0
3.	Перманганатная окисляемость, $\text{мгO}_2/\text{л}$	13,2	1,6	0,4
4.	Азот аммонийный, мг/л	0,61	0,038	0,0077
5.	Азот нитритный, мг/л	0,026	0,015	0,014
6.	Остаточный алюминий, мг/л	-	0,094	0
7.	Запах, баллы	3	отсутствие	отсутствие
8.	pH	8,05	7,0	7,05
9.	Хлориды, мг/л	6,18	10,15	7,92
10.	Жесткость, мг-экв/л	3,0	3,0	3,0

08.06.98 $Q_{в} = 2,0 \text{ м}^3/\text{ч}$

№ п/п	Показатели качества воды	р.Вологда	РЧВ
1.	Цветность, °ПКШ	62,7	13
2..	Мутность, мг/л	1,34	0
3.	Перманганатная окисляемость, $\text{мгO}_2/\text{л}$	14,4	2,8
4.	Азот аммонийный, мг/л	0,67	0,011
5.	Азот нитритный, мг/л	0,031	0,028
6.	Остаточный алюминий, мг/л	-	0,031
7.	Запах, баллы	3	отсутствие
8.	pH	7,9	7,05
9.	Хлориды, мг/л	6,44	7,42
10.	Жесткость, мг-экв/л	2,9	2,9

09.06.98 $Q_b = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$

№ п/п	Показатели качества воды	ка- 9 час.00 мин. р.Вологда	10 ч. 00 мин. РЧВ	16 ч. 00 мин. РЧВ
1.	Цветность, °ПКШ	61,6	1,64	0
2.	Мутность, мг/л	1,29	0	0
3.	Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	12,8	0,4	0
4.	Азот аммонийный, мг/л	0,69	0,019	0,019
5.	Азот нитритный, мг/л	0,026	0,026	0,025
6.	Остаточный алюминий, мг/л	-	0,031	0
7.	Запах, баллы	3	отсутствие	отсутствие
8.	рН	7,8	7,1	6,95
9.	Хлориды, мг/л	7,43	7,92	7,43
10.	Жесткость, мг-экв/л	3,0	3,0	3,0

Таблица 11

**Результаты бактериального анализа воды
до и после установки**

Показатели бактериального загрязнения	р.Вологда, осредненная проба	РЧВ, осредненная проба
$Q_b = 2,0 \text{ м}^3/\text{ч}$		
ОМЧ	90	отсутствие
Коли-индекс	1000	<3
$Q_b = 1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$		
ОМЧ	90	отсутствие
Коли-индекс	1000	<3
$Q_b = 1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$		
ОМЧ	90	отсутствие
Коли-индекс	1000	<3
$Q_b = 2,0 \text{ м}^3/\text{ч}$		
ОМЧ	90	отсутствие
Коли-индекс	1000	<3