

УДК 628.16.069:330.322.54 (470.13)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ НАПОРНОЙ ФЛОТАЦИИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

В.Ф. ФОМИНА¹, А.В. ФОМИН²

¹*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*

fomina@iespn.komisc.ru

²*ОАО «Сыктывкарский Водоканал», г. Сыктывкар*

eastsir@mail.ru

В результате внедрения метода напорной флотации на водоочистой станции г. Сыктывкара решена проблема качества питьевой воды, оно сопоставимо с европейскими стандартами. Это первый успешный производственный опыт применения напорной флотации в России при подготовке питьевой воды. Получены экономические, экологические и социальные эффекты.

Ключевые слова: очистка маломутных цветных вод, напорная флотация, качество питьевой воды, эффективность внедрения

V.F. FOMINA, A.V. FOMIN. THE EFFECTIVENESS OF PRESSURE FLOTATION IMPLEMENTATION FOR DRINKING WATER TREATMENT IN THE KOMI REPUBLIC

As a result of pressure flotation method at the water treatment facility in Syktivkar the problem of drinking water quality is solved. The quality is at comparable to European standards level. This is the first successful industrial experience of pressure flotation in Russia in the practice of drinking water treatment. Economic, environmental and social effects are obtained.

Keywords: low-turbid colored water treatment, pressure flotation, drinking water quality, effectiveness of the implementation

Проблемы подготовки питьевой воды из поверхностных источников в условиях Севера

Обеспечение населения качественной питьевой водой является одним из приоритетных направлений развития водохозяйственного комплекса до 2020 года, обозначенных Водной стратегией как условие для социально-экономического развития страны, и важнейшим фактором повышения качества жизни в регионах [1]. Системы водоснабжения в Республике Коми (РК) создавались в период недостаточной разведанности и изученности качества подземных вод по

показателям их пригодности для питьевых целей в соответствии с установленными критериями [2]. По этой причине в настоящее время на территории РК для водоснабжения населенных пунктов преимущественно используют поверхностные воды, которые содержат в повышенных концентрациях органические вещества, обуславливающие цветность и окисляемость, железо, характеризуются малой мутностью и минерализацией, низкой щелочностью. В период с октября по апрель температура воды может снижаться до величины менее 1° С. В табл. 1 приведены среднесуточные значения основных показателей качества воды р. Вычегды в створе водозабора г. Сыктывкара, их изменение в течение года и сопоставление с нормативами.

Таблица 1

Характеристика качества поверхностных вод р. Вычегды в створе водозабора г. Сыктывкара и нормативные требования к качеству питьевой воды централизованных систем водоснабжения

Показатели качества воды	Створ водозабора (2010 г.)	Требования СанПиН [5]
Органолептические свойства воды		
Запах при 20° С / 60° С, баллы	0/0 – 0/1	2
Привкус, баллы	0/0	2
Цветность, град.	22 – 150	20
Мутность, мг/л	0,9 – 12,8	1,5 (по коалину)
Обобщенные показатели		
Водородный показатель, рН	7,05 – 7,98	6-9
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	73 – 190	1000
Жесткость общая, ммоль/л	0,9 – 2,9	7
Окисляемость перманганатная, мг О/л	2,2 – 27,6	5
Поверхностно-активные вещества (АПАВ), мг/л	0,015 – 0,035	0,5
Фенольный индекс, мг/л	0,002 – 0,02	0,25
Нефтепродукты (суммарно), мг/л	0,02 – 0,37	0,1
Содержание химических веществ (приводится неполный перечень)		
Железо (Fe, суммарно), мг/л	0,2 – 2,0	0,3
Марганец (Mn, суммарно), мг/л	0,06 – 0,16	0,1
Медь (Cu, суммарно), мг/л	0,04 – 0,09	1,0

Нитраты (по NO ₃ ⁻), мг/л	0,25 – 1,18	45
Сульфаты (SO ₄ ²⁻), мг/л	12,6 – 27,4	500
Хлориды (Cl ⁻), мг/л	1,2 – 2,9	350
Микробиологические показатели		
Общее микробное число (ОМЧ), число единиц в 1 мл	4 – 88	50
Общие колиформные бактерии (ОКБ), число ед. в 100 мл	10 – 153	Отсутствие
Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ), число ед. в 100 мл	5 – 115	
Колифаги, число ед. БОЕ в 100 мл	0 – 2	
Споры сульфитредуцирующих клостридий, число ед. в 20 мл	0,1 – 5	

В соответствии с требованиями к качеству воды источника водоснабжения участок реки Вычегды в районе расположения водозабора Сыктывкара на протяжении всего периода его эксплуатации относят к наиболее неблагоприятному III классу [2]. Использование таких вод для питьевого водоснабжения требует их специальной подготовки и необходимого комплекса очистных сооружений на водоочистой станции (ВОС). Для интенсификации извлечения из воды нежелательных примесей традиционные технологии подготовки питьевой воды предусматривают коагулирование (введение в воду коагулянтов и флокулянтов) и включают одну или две ступени очистки (табл. 2).

Таблица 2

Условия применения традиционных технологий подготовки питьевой воды

Основные сооружения в технологической схеме	Показатели		Производительность ВОС, м ³ /сут.
	исходная вода / очищенная вода		
	Мутность, мг/л*	Цветность, град**	
С коагулированием			
1. Отстойники – фильтры (отстойники вертикальные или горизонтальные; трубчатый отстойник - установка Струя»)	До 1500/ до 1,5	До 120 / до 20	До 5000 (верт. отс.); свыше 30000 (гор. отс.); до 800 («Струя»)
2. Осветлители со слоем взвешенного осадка – фильтры	Не менее 50, до 1500 / до 1,5	До 120 / до 20	Свыше 5000
3. Контактные осветлители	До 120 / до 1,5	До 120 / до 20	Любая
4. Контактные префильтры – фильтры	До 300 / до 1,5	До 120 / до 20	Любая

Примечание. *Мутность исходной воды указана с учетом добавленных реагентов. **По п.6.9 СНиП 2.04.02-84 при мутности до 50 мг/л вода источника характеризуется как маломутная, в зависимости от величины цветности различают малоцветные воды – до 35 град, средней цветности – от 35 до 120 град. и высокой цветности – свыше 120 град.

С учетом диапазона сезонного колебания показателей качества воды р. Вычегды (мутности, цветности) ни одна из традиционно применяемых технологических схем подготовки питьевой воды, приведенных в табл. 2 в соответствии с нормами проектирования [3], не может быть рекомендована. Низкая эффективность отстаивания и осветления в слое взвешенного осадка обусловлена недостаточной для этих процессов величиной мутности исходной воды и ее значительными сезонными колебаниями. Этот фактор отрицательно влияет и на эффективность контактных осветлителей в одноступенчатой схеме очистки и контактных префильтров при двухступенчатом фильтровании, особенно в паводковые периоды при повышении одновременно мутности и цветности исходной воды.

Кроме того нормы проектирования не учитывают влияние температуры воды при выборе состава очистных сооружений. В то время как, низкая температура воды в осенне-зимний период значительно замедляет процесс коагуляции и является неблагоприятным фактором для всех традиционных схем водоподготовки. Именно период низких температур воды (в диапазоне 0,1-2° С) является наиболее сложным на ВОС г. Сыктывкара для получения питьевой воды нормативного качества. Особенно проблемными были 70-е годы при эксплуатации горизонтальных отстойников.

С целью разработки оптимальной технологии очистки маломутной цветной воды р. Вычегды в 1978-1980 гг. проводились экспериментальные исследования в трех направлениях: I – изучение природы гуминовых веществ, придающих цветность воде, степени влияния состава водного гумуса на процесс коагуляции примесей воды; II – поиск оптимальных режимов коагулирования воды в различных температурных условиях при отстаивании и напорной флотации; III –

исследование влияния различных параметров процесса напорной флотации на эффективность выделения из воды мелкодисперсной взвеси, разработка флотационных сооружений, экономичных в условиях Севера [5]. Эксперименты проводились в условиях ВОС на полупромышленной установке производительностью 2,5 м³/ч (60 м³/сут).

Основные результаты исследований

Состав водного гумуса р. Вычегды. Исследованиями установлено, что цветность воды преимущественно обусловлена коллоидной фракцией фульвокислот, содержание ее по цветности составляет в среднем 83%. Изменение концентраций отдельных фракций гуминовых веществ имеет сезонно выраженную закономерность. На рис. 1 показано, что в зимний период минимального стока в реке высока доля мало окрашенной части некоагулируемых фульвокислот – креновых кислот (более 65%). В паводковый период в речной воде возрастают концентрации коллоидных фракций фульвокислот и гуминовых кислот. Данные фракционирования водного гумуса дополняют качественный состав реки Вычегды и представляют наибольший интерес с точки зрения технологии обработки воды в условиях Севера.

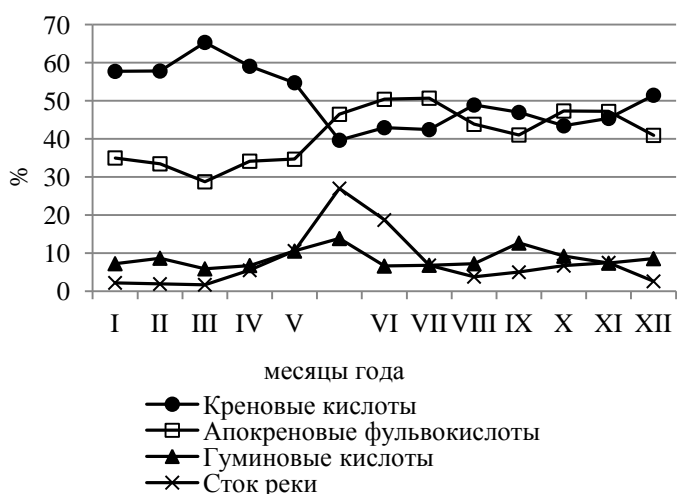


Рис. 1. Сезонное изменение содержания основных фракций гуминовых веществ в воде р. Вычегды.

Влияние температуры на процесс коагулирования маломутной цветной воды р. Вычегды проявляется в необходимости повышения дозы коагулянта при понижении температуры исходной воды. Удельный расход коагулянта на 1 град. цветности в течение года изменяется в пределах 0,4-1,4 мг/л. Установлено, что изменение температуры воды в диапазоне 0,1-18°С при обработке воды

постоянного состава обуславливает снижение оптимальной дозы коагулянта в 1,8 раза, соответственно, дозы флокулянта в 2,7 раза (рис. 2).

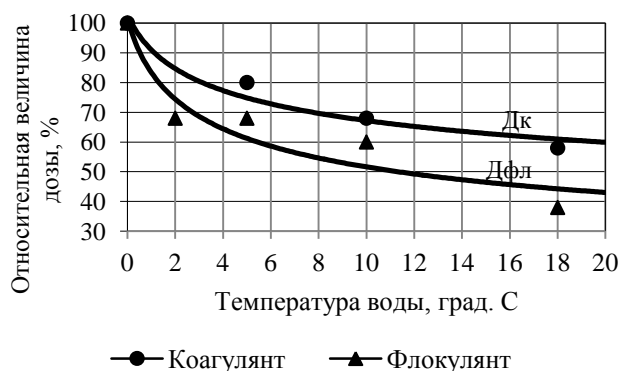


Рис. 2. Влияние температуры воды на дозы коагулянта и флокулянта при коагулировании маломутной цветной воды р. Вычегды.

Установлено, что повышенные расходы коагулянта обусловлены также изменяющимся во времени составом и свойствами фульвокислот. На рис. 3 коэффициентами $K_1 = D_{к\text{оп}} / D_{к\text{расч}}$ выражено отношение опытной дозы коагулянта к расчетной, $K_2 = K_{р.ФК} / A_{п.ФК}$ – количества креновых к апокреновым фульвокислотам. По изменению этих коэффициентов выделяются периоды с наибольшей степенью влияния температуры воды на процесс коагуляции и периоды с доминирующим действием фракции креновых кислот.

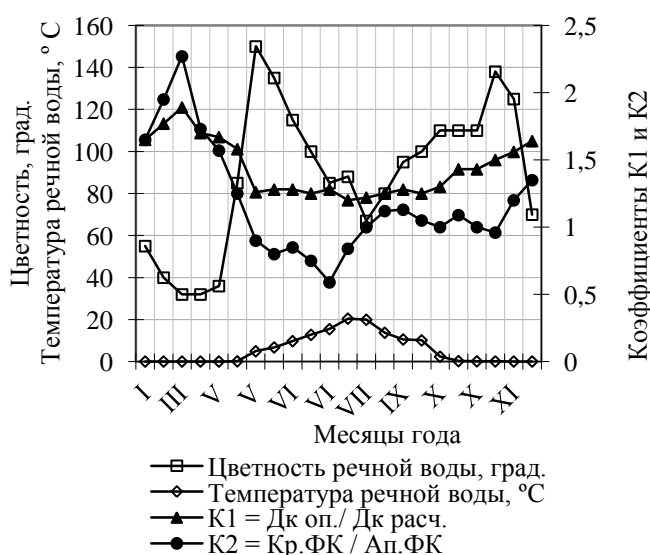


Рис. 3. Влияние совокупного действия гуминовых веществ и температуры на процесс коагулирования воды р. Вычегды.

Влияния этих факторов учитывают полученные зависимости 1 и 2 дозы

коагулянта от цветности и температурного режима воды р. Вычегды:

при температуре менее 2°С

$$D_k = 10,4 Ц^{0,4}, \quad (1)$$

при температуре более 2°С

$$D_k = 4,7 Ц^{0,52}, \quad (2)$$

где: D_k – доза коагулянта, мг/л;

$Ц$ – цветность исходной воды, градусы.

Флотационная очистка воды. Результаты исследований в лабораторных и полупромышленных условиях показали преимущества напорной флотации, состоящие в более высокой скорости процесса очистки и степени осветления коагулированной воды независимо от сезонных изменений показателей качества речной воды. Экспериментальная установка производительностью 2,5 м³/ч включала следующие основные элементы: смеситель; камеру хлопьеобразования; напорный флотатор, состоящий из двух секций; скорый фильтр с загрузкой из песка; узел приготовления водовоздушного раствора (рис. 4).

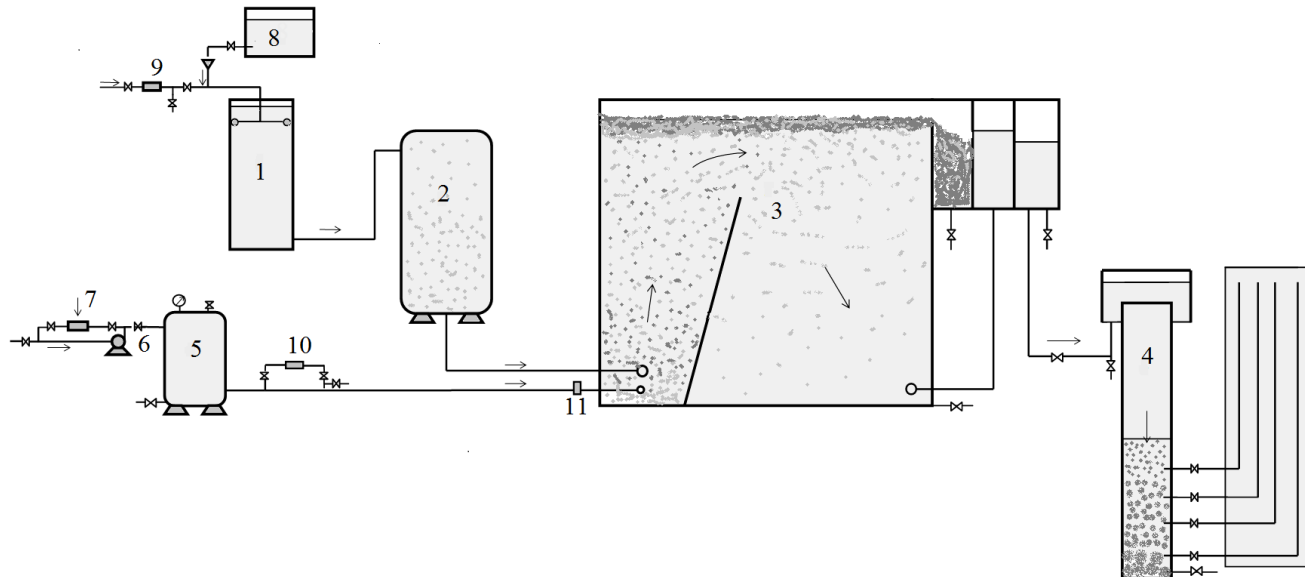


Рис. 4. Схема экспериментальной установки производительностью 2,5 м³/ч.

1 – смеситель, 2 – камера хлопьеобразования, 3 – напорный флотатор, 4 – скорый фильтр; 5 – напорный бак, 6 – центробежный насос, 7 – эжектор, 8 – емкости с реагентами, 9 – расходомер исходной воды, 10 – расходомер водовоздушного раствора, 11 – дросселирующее устройство.

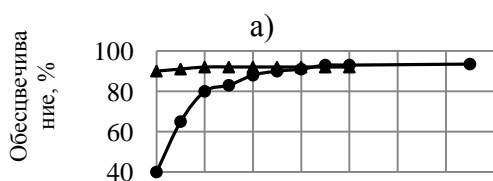
Экспериментально подтверждено, что очистка маломутных цветных вод напорной флотацией состоит из двух процессов: сорбции гуминовых веществ на продуктах гидролиза коагулянта и извлечения мелкодисперсной взвеси пузырьками воздуха, выделенными из пересыщенного водовоздушного раствора. При этом важны оптимально установленные режим коагулирования воды и параметры флотирования частиц взвеси, определяемые условиями подачи водовоздушной смеси (механизмом образования флотоагрегатов) и полнотой смешения ее с коагулированной водой. Вероятность образования флотоагрегатов обуславливается:

- равномерностью распределения пузырьков воздуха по всему объему воды, что достигается конструкцией флотатора, состоящего из двух отделений: смешения и флотирования;

- скоростью подхода пузырьков воздуха, которая не должна превышать скорость движения воды из условия сохранения хлопьев;

- размером частиц, образующихся в результате коагуляции, соизмеримостью их с размерами пузырьков воздуха.

Комплексный учет всех факторов, влияющих на процесс очистки воды напорной флотацией (длительность хлопьеобразования, температура воды, условия образования флотоагрегатов), реализован при работе установки в режиме постоянных параметров флотации: количество водовоздушной смеси – 10%, скорость дросселирования – 26,3 м/с, время пребывания во флотаторе – 40 мин. Эффективность очистки напорной флотацией оценивалась показателями степени обесцвечивания и обезжелезивания, мутности и остаточного алюминия (рис.5).



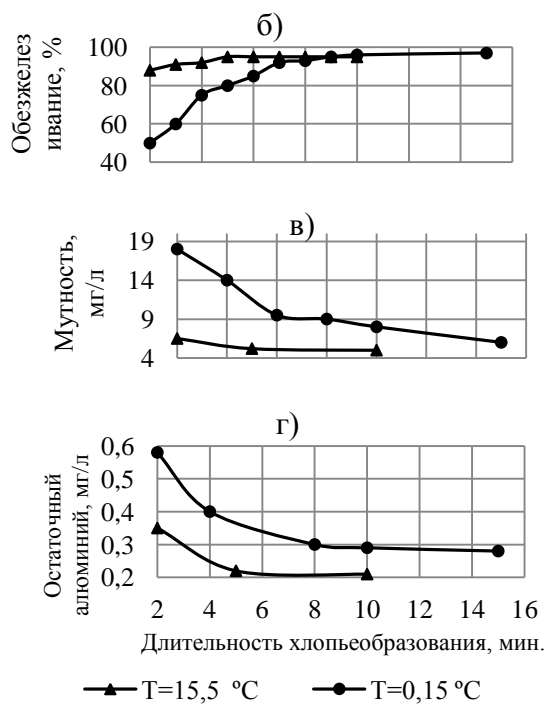


Рис. 5. Эффективность очистки воды напорной флотацией в зависимости от длительности хлопьеобразования и температуры воды.

а – обесцвечивание; б – обезжелезивание; в – мутность; г – остаточный алюминий; ▲ – при $T = 15,5^{\circ}\text{C}$; ● – при $T = 0,15^{\circ}\text{C}$.

Установлено, что при температурах воды выше $2-5^{\circ}\text{C}$ высокая степень очистки воды возможна без камер хлопьеобразования. Для максимального снижения в очищаемой воде цветности и мутности, содержания железа и остаточного алюминия в осенне-зимний период технологическая схема должна включать камеру хлопьеобразования из расчета пребывания в ней воды 10-15 минут. Таким образом, оптимальная технологическая схема очистки маломутной цветной воды р. Вычегды должна включать следующие сооружения: камеры хлопьеобразования, напорные флотаторы, скорые фильтры.

Этапы технологической модернизации ВОС г. Сыктывкара

Для обеспечения г. Сыктывкара качественной питьевой воды на водоочистой станции за время ее существования построено несколько блоков водоподготовки, различающихся составом сооружений первой стадии очистки: горизонтальные отстойники, контактные префильтры, напорные флотаторы. Каждый этап технологического обновления ВОС решал определенные проблемы

водоснабжения города (табл. 3).

Таблица 3

Основные периоды технологической модернизации ВОС г. Сыктывкара

Этапы	Состав ВОС
1965-1982 гг.	В 1965 г. введен в эксплуатацию блок 1 – горизонтальные отстойники – фильтры на 15 тыс.м ³ /сут. В 1969 г. введен блок 2 – горизонтальные отстойники - фильтры на 30 тыс. м ³ /сут. 1978-1980 гг. – проведены исследования на установках двухступенчатого фильтрования (НИИ КВОВ) и напорной флотации [4].
1983-1992 гг.	В 1983 г. введен блок 3 – контактные префильтры - фильтры (двухступенчатое фильтрование) при установленной мощности 50 тыс. м ³ /сут. и выведен из эксплуатации блок 1.
1992-2005 гг.	В 1992 г. приостановлено строительство второго блока двухступенчатого фильтрования с целью перепроектирования его на блок с напорными флотаторами. Введение в практику пробного коагулирования учета температуры исходной воды. С ноября 2005 г. – пуско-наладочный период работы блока 4 с напорными флотаторами и фильтрами.
2006-2008 гг.	В мае 2006 г. введен в эксплуатацию блок 4 – напорные флотаторы - фильтры при установленной мощности 65 тыс. м ³ /сут; выведен блок 2; снижена нагрузка на блок 3.
С 2008 г. по настоящее время	В постоянной эксплуатации блок 4. В июне 2008 г. поставлен на ремонт блок 3. В ноябре 2008 г. введен после ремонта блок 2. В 2009 г. установлены механические мешалки в камерах хлопьеобразования блока отстойников, работающего при сниженных нагрузках.

В 70-80-е годы развитие систем водоснабжения в городах РК, в том числе и Сыктывкаре, отставало от темпов роста промышленности и численности населения. В связи с этим введенные в 1965 и 1969 гг. в эксплуатацию блоки горизонтальных отстойников (на 15 и 30 тыс. м³/сут.) в Сыктывкаре работали с повышенной гидравлической нагрузкой, что дополнительно снижало эффективность очистки воды. Особенно сложным был осенне-зимний период водоподготовки, когда проведение коагулирования теряло смысл из-за неполноты гидролиза коагулянта, выноса мелких, легких хлопьев из отстойников на фильтры и частоты их промывки. Происходила частичная очистка по показателям цветности, окисляемости, железа и мутности, а в очищенной воде содержался в

повышенных концентрациях остаточный алюминий. По этим причинам от коагулирования воды в зимний период отказывались, проводя только обеззараживание хлором. В табл. 4 представлены результаты очистки воды из р. Вычегды в горизонтальных отстойниках, характерные для периода 1970-1982 гг.

Таблица 4

Показатели, характеризующие подготовку питьевой воды в блоке сооружений с горизонтальными отстойниками (данные за 1976 г.)

1976 год	Речная вода					Дозы реагентов, мг/л			Очищенная вода*			
	Ц, град	Т, ° С	Взв., мг/л	Fe, мг/л	Ок, мгО/л	Коагу лянт	Сода	ПАА	Ц, град	М, мг/л	Fe, мг/л	Ок, мгО/л
I	37	0,5	2,1	0,85	4,7	-	-	-	30	1,4	0,57	2,4
II	37	0,5	2,5	0,8	4,5	-	-	-	27	1,4	0,69	3,1
III	32	0,8	3,0	0,9	4,6	-	-	-	21	2,1	0,72	4,2
IV	27	0,6	3,7	0,8	6,2	62	58	0,6	17	1,8	0,58	4,7
V	110	3,6	52	1,45	17	72	94	0,6	8	1,8	0,20	8,0
VI	110	12,5	12	0,95	22	68	70	0,46	7	1,8	0,22	6,6
VII	93	18,0	14	1,0	20	70	40	-	11	1,7	0,26	6,6
VIII	44	17,6	4,5	0,58	14	50	40	-	5	1,5	0,14	6,0
IX	46	9,5	9,0	0,61	14,5	56	40	1,0	10	2,0	0,22	5,1
X	95	1,0	11	0,73	15	80	46	1,0	25	1,9	0,34	10,3
XI	70	0,4	2,0	0,55	11	80	47	0,5	25	2,0	0,37	6,8
XII	98	0,25	2,0	0,43	7	-	-	-	21	1,3	0,33	5,2

*Ц – цветность воды в градусах платино-кобальтовой шкалы; М – мутность; Fe – содержание железа; Ок – перманганатная окисляемость; «-» – коагулирование воды не проводилось; жирным шрифтом выделены величины, превышающие современные нормативы.

Проблема подготовки питьевой воды из реки Вычегды казалась настолько неразрешимой, что в 1978-1980 гг. на ВОС г. Сыктывкара, наряду с исследованиями эффективности напорной флотации (рассмотренными выше), проводились испытания технологической схемы двухступенчатого фильтрования, основанной на принципе контактной коагуляции (разработка НИИ КВОВ). Для практической реализации технология двухступенчатого фильтрования

специалистам-практикам представлялась более простой и привычной, что определило решение о ее внедрении. Проектирование и строительство нового блока на 60 тыс.м³/сут было проведено в относительно короткие сроки, пуск сооружений состоялся в 1983г.

С вводом в эксплуатацию блока двухступенчатого фильтрования завершился второй этап технологической модернизации ВОС, определивший неблагоприятную ситуацию с водообеспечением города вплоть до 2006 г. Наиболее сложным оценивается период 1983-1993 гг., в течение которого водопотребление выросло в 3 раза. При снижении установленной мощности третьего блока до 50 тыс. м³/сут (проектная 60 тыс. м³/сут) и повышенном расходе промывных вод сохранилась проблема низкой полезной производительности ВОС. Для ее решения было начато строительство дополнительного блока с аналогичным составом сооружений. В этот же период ужесточились требования к качеству питьевой воды. Редакция ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая» расширила перечень первостепенных критериев очищенной воды включением остаточного алюминия (до 0,5 мг/л). Этот показатель является одним из основных при оценке эффективности очистки на стадии пробного коагулирования и в действующих сооружениях, наряду с мутностью, перманганатной окисляемостью, содержанием железа (Fe²⁺, Fe³⁺), pH и щелочностью. Введение в практическую деятельность на ВОС обязательного контроля остаточного алюминия показало сложность обеспечения этого показателя не только в блоке отстойников, но и в сооружениях двухступенчатого фильтрования. По оценке Санитарно-эпидемиологической станции г. Сыктывкара количество неудовлетворительных проб питьевой воды составляло до 80-97 %, в том числе по алюминию – 16-32% (табл. 5).

Учитывая неудовлетворительную работу сооружений двухступенчатого фильтрования, в 1992 году строительство дополнительного блока было приостановлено и выполнено перепроектирование объекта на сооружения с напорными флотаторами на 65 тыс. м³/сут (будущий блок 4).

Таблица 5

Удельный вес неудовлетворительных проб питьевой воды в начальный период эксплуатации сооружений двухступенчатого фильтрования

Показатели/ годы	1984	1985	1986	1987
1.Всего проб на санитарно-химический анализ, кол-во	151	167	171	223
Из них не отвечающих ГОСТ 2874-82, %	97	80	82	86
В том числе по показателям:				
- цветность	70	10	23	5
- мутность	71	50	44	57
- железо	89	54	68	76
- алюминий	26	16	32	18
2.Микробиологические анализы, кол-во	1040	650	2230	1957
Из них не отвечающих ГОСТ 2874-82, %	5	1,7	1,5	1,7

В основу проектных разработок положены результаты исследований, полученные в 1978—1980 гг., которые экспериментально подтверждали эффективность очистки маломутных цветных вод р. Вычегды, преимущества использования напорной флотации и целесообразность технологического решения ключевых вопросов – обеспечения качества питьевой воды и требуемой мощности сооружений.

В период строительства блока 4 (1993-2005 гг.), до его внедрения, на ВОС проводились мероприятия по повышению эффективности двухступенчатого фильтрования, направленные, прежде всего, на оптимизацию реагентной обработки воды. Были приняты во внимание научно обоснованные особенности коагулирования маломутной цветной воды в условиях сезонной изменчивости состава гуминовых веществ и температурного режима воды. Они состоят в следующем:

сульфат алюминия остается основным реагентом при очистке цветных холодных вод; применение флокулянта обязательно в период низких температур;

коагуляция наиболее эффективно проходит в области значений pH (5,2-6,6), обеспечивающей максимальное снижение цветности и минимальные

концентрации остаточного алюминия в очищенной воде;

для полноты гидролиза коагулянта воду с низким щелочным резервом необходимо подщелачивать для обеспечения хлопьеобразования и минимизации растворенной части остаточного алюминия; целесообразно, чтобы остаточная щелочность была не ниже 0,2-0,5 мг-экв/л;

необходимо учитывать температуру, интенсивность перемешивания реагентов с водой и длительность хлопьеобразования при коагуляции в свободном объеме (в блоке отстойников; впоследствии в блоке флотаторов);

оптимальную дозу реагентов следует выбирать не только по остаточной величине цветности и мутности, определяемых при пробном коагулировании, но и с учетом снижения показателей железа, окисляемости, остаточного алюминия.

Со временем пробное коагулирование стали проводить с учетом температуры исходной воды, а при выборе оптимальной дозы коагулянта учитывать принципиальные различия процессов коагуляции в блоке отстойников и в сооружениях двухступенчатого фильтрования. Необходимо отметить, что к началу пуска нового блока 4 на ВОС значительно вырос профессиональный уровень технологов, ответственных за назначение оптимальных доз реагентов.

Ввод блока сооружений с напорными флотаторами и оптимизация его работы

В конце ноября 2005 г. состоялся пуск нового блока 4. Конструктивной особенностью новых сооружений является выполнение их единым блоком с камерами хлопьеобразования (реакции) и скорыми фильтрами для глубокого осветления воды (мутность до 1,5 мг/л) (рис. 6).

Пуско-наладочный период продлился до мая 2006 г., охватив неблагоприятные периоды сезонного колебания качества речной воды и ее температурного режима. Ожидания высоких результатов, как по качеству очищенной воды, так и по полезной производительности блока оправдались. Поэтому в последующее время все отстойники были отключены, и

водоподготовка осуществлялась при сниженной подаче воды в блок двухступенчатого фильтрования и полной нагрузке напорных флотаторов.

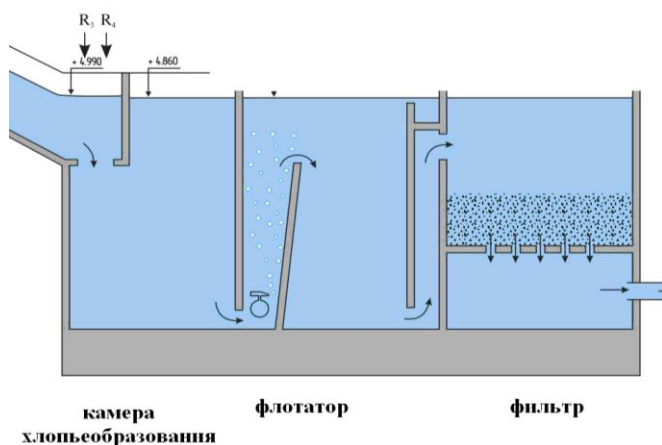


Рис. 6. Технологическая схема блока сооружений с напорными флотаторами для подготовки питьевой воды (ВОС г. Сыктывкара).

Сравнительный анализ критериев качества очищенной воды после первой ступени осветления показал более высокую эффективность флотационной очистки по цветности, мутности (рис. 7) и другим показателям при стабильной работе всех сооружений (последнего года совместной работы 3-го и 4-го блоков).

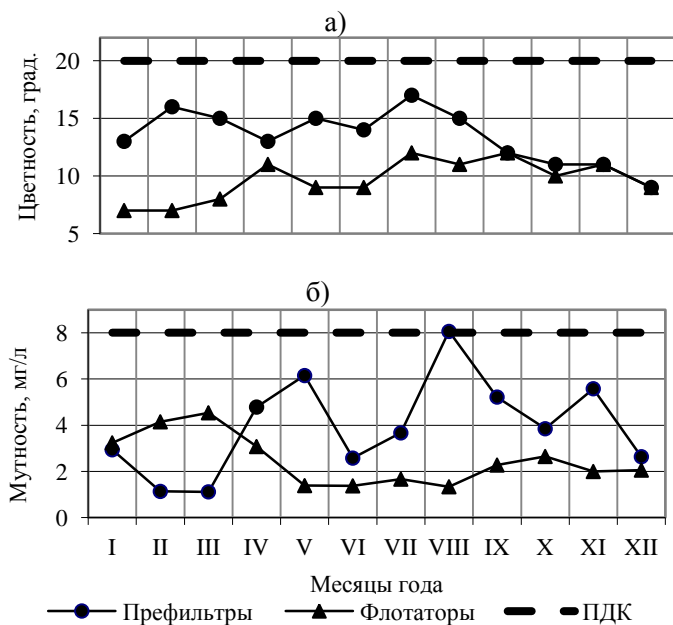


Рис. 7. Эффективность очистки коагулированной воды на I стадии осветления в префильтрах блока двухступенчатого фильтрования и в напорных флотаторах (2007 г.) по показателям: а – цветность, град.; б – мутность, мг/л.

Снижение объемов водопотребления города позволило летом 2008 г. оставить в работе только флотаторы и отключить 3-й блок на ремонт. Однако в период запуска отопительных систем города требуемый объем подачи возрастает. В связи с тем, что ремонт блока 3 затянулся на неопределенный срок, в постоянную эксплуатацию снова ввели блок 2 с отстойниками при небольшой их нагрузке и усовершенствовании узла хлопьеобразования. Сложившийся режим работы ВОС этого периода оказался наиболее целесообразным вариантом получения дополнительного объема воды и в настоящее время. На рис. 8 представлена динамика среднесуточной величины мутности воды после флотаторов за период с мая по ноябрь 2010 г., которая характеризует процесс осветления напорной флотацией как высоко эффективный метод очистки маломутных цветных вод, обеспечивающий *глубокое осветление* ее на этапе до фильтрования.

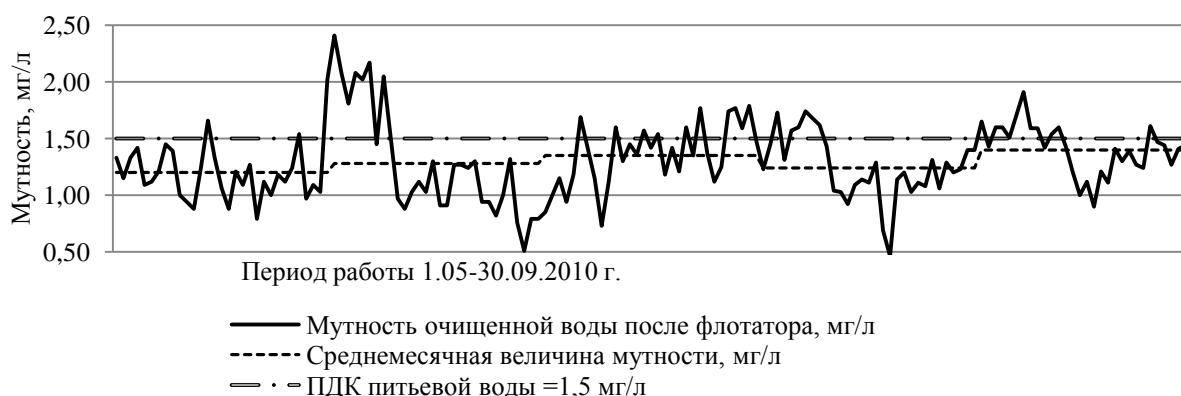


Рис. 7. Эффективность осветления коагулированной воды напорной флотацией по мутности после оптимизации работы ВОС (2010 г.).

Величина мутности воды на выходе из сооружений I ступени очистки, рекомендуемая нормами проектирования для обеспечения нормального режима эксплуатации фильтров, не должна превышать 8-15 мг/л [3]. В наших условиях среднесуточное значение мутности значительно ниже (0,5-2,4), среднемесячные значения мутности составляют 1,2-1,4 мг/л, что свидетельствует о возможностях достижения не только высокого качества фильтрата, но и значительного

увеличения продолжительности фильтроцикла с 8-12 до 36 и более часов.

При этом необходимое количество воды для промывки фильтров уменьшается до 3% в отличие от расходов воды на собственные нужды традиционных технологий, для которых они достигают 10-14%. В результате снижения количества промывных вод на ВОС до 4 раз сократился сброс загрязненных сточных вод в р. Сысолу. Наряду с этим снизился сброс загрязняющих веществ в составе отводимых стоков за счет понижения на 34 % расхода реагентов на ВОС.

В табл. 6 приведены среднемесячные значения основных показателей качества питьевой воды, поступающей с ВОС г. Сыктывкара, в сравнении с действующими российскими и европейскими стандартами.

Таблица 6

Оценка эффективности новой технологии с использованием напорной флотации по критериям качества питьевой воды для централизованного водоснабжения

Основные показатели	Резервуары чистой воды (2010 г.)	Сан ПиН 2.1.4.1074-01	Директива по питьевой воде 98/ 83/ ЕС
Запах при 20/60 °С, баллы	0 / 0	2 / 2	Приемлемый для потребителей
Мутность, мг/л	0,3 – 0,4	1,5	< 1 ЕМФ (по формалину)
Цветность, град.	4 – 10	20	Приемлемая для потребителей
Окисляемость перманганатная, мгО/л	1,96 – 3,99	5	5
Остаточный алюминий, мг/л	0,04 – 0,13	0,5	0,2
Водородный показатель, ед. рН	6,3 – 7,2	6 – 9	6,5 – 9,5
Жесткость общая,	0,9 – 2,9	7	2,5
Железо, мг/л	0,03 – 0,04	0,3	0,2
Марганец, мг/л	0,02 – 0,08	0,1	0,05
Хлориды, мг/л	9,3 – 16,6	350	250
Сухой остаток, мг/л	108 – 190	1000	500 (рекомендация ВОЗ)

Качество питьевой воды отвечает гигиеническим требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [5] по всем показателям и сопоставимо с *европейскими нормативами*. Снижение остаточного алюминия достигается ниже величины 0,2 мг/л, содержание железа на порядок ниже и находится в пределах 0,03-0,04 мг/л, окисляемость не превышает нормативной величины 5 мг О/л.

Экономический, экологический и социальный эффект

В результате модернизации ВОС г. Сыктывкара за счет внедрения новой технологии подготовки питьевой воды с использованием метода напорной флотации получен существенный экономический, экологический и социальный эффект. Реализованная технология обеспечивает снижение потребностей в инвестициях на 60% по отношению к варианту проекта строительства дополнительного блока двухступенчатого фильтрования. При этом экономия по эксплуатационным затратам составляет около 31 млн. руб. в год, в том числе за счет снижения потребления электроэнергии на 606 тыс. кВт · час/год и теплоспонобления на 1,2 тыс. Гкал/год.

В экологическом плане с внедрением блока напорных флотаторов и оптимизацией режимов их работы в 4 раза уменьшилось количество промывных вод и, соответственно, величина сброса сточных вод в водные объекты. В результате сокращения расходов на собственные нужды ВОС снизился забор свежей воды. Вследствие этих мероприятий сократились экологические платежи.

Социальный эффект новой технологии подготовки питьевой воды состоит, в первую очередь, в обеспечении гарантированной подачи питьевой воды высокого качества, соответствующего гигиеническим требованиям, что способствует снижению риска заболевания населения в связи с недоброкачеством воды.

Наряду с этим снижены инвестиционные затраты населения, составляющие 4,5 тыс. руб. в расчете на одного человека, и на 8% тариф за счет меньших эксплуатационных затрат.

Реализованная технология является первым успешным производственным опытом в России. По результатам эксплуатации она в полной мере соответствует понятию «наилучшая доступная технология» и отвечает принципам рационального природопользования и ресурсосбережения.

Литература

1. *Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года.* Утв. распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 №1235-р.
2. *ГОСТ 2761-84:* Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора.
3. *СНиП 2.04.02-84.* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения/ Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
4. *Фомина В.Ф.* Очистка маломутных цветных вод в условиях Севера с использованием напорной флотации: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Ленинград: ЛИСИ, 1981. – 22 с.
5. *СанПиН 2.1.4.1074-01.* Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпидемнадзора России, 2002.