

Ельшин А.И., Вегера А.И., Волков В.К. и др. Исследование качества питьевой воды Полоцкого региона // Вести ПГУ, В – Прикладные науки. - Новополоцк: ПГУ, 2000. – С. 75-82.

УДК 628.1

Ельшин А.И., Вегера А.И., Волков В.К., Жаркова О.Н., Абрамова О.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ПОЛОЦКОГО РЕГИОНА

Резюме

В статье приведены результаты оценки качества водопроводной воды Полоцкого региона и исследованы возможности применения систем тонкой очистки по схеме прямого подключения к водопроводной сети. В качестве фильтровального материала для использования в предфильтрах мембранных водоочистных установок рекомендовано трикотажное полотно ПТТФ производства ВГТУ.

Одной из проблем Республики Беларусь является качество водопроводной воды. В «Республиканской программе первоочередных мер по улучшению снабжения населения питьевой водой» указывается, что до 70 % воды, поступающей потребителям, не соответствует государственным стандартам, в частности, по железу, содержание которого в воде достигает 1-5, а иногда и до 10 мг/л [1]. В пищевой, фармацевтической, электронной и других отраслях промышленности вода подвергается дополнительному кондиционированию с использованием систем тонкой очистки, включающих: микрофильтры, полупроницаемые мембраны, адсорбенты, ионообменные смолы и т.п. [2, 3]. Все шире потребители применяют локальные системы очистки небольшой производительности, подключаемые непосредственно к распределительной водопроводной сети («на кран»), что существенно удешевляет систему за счет исключения насосного и вспомогательного оборудования.

Как пример в таблице 1 представлены результаты опытов проведенных в ПГУ при фильтровании водопроводной воды на различных типах мембран, место отбора исходной воды лаб. № 307 (усреднение по 4 пробам). Качественные характеристики воды существенно улучшаются в направлении: Микрофильтры (Millipore и МИФИЛ) Ультрафильтры (МИФИЛ ПА-20 и УАМ-50П). В частности уменьшается концентрация взвешенных веществ,

бихроматная окисляемость, снижается цветность и жесткость. В этом же направлении уменьшается и размера пор мембран.

Являясь дополнительными средствами повышения качества воды используемой в пищевой, электронной промышленности, медицине, фармацевтике и быту, системы тонкой очистки и, в частности, полупроницаемые мембраны, очень чувствительны к наличию механических примесей в исходной воде и нуждаются в защите от них посредством предочистки с помощью фильтрования [2-5]. Согласно [2, 6] существует потребность в оптимизации системы предфильтр – мембрана с тем, чтобы стоимость предочистки находилась в разумном соотношении со стоимостью самой мембранной установки [7].

Целью данного исследования была оценка качества водопроводной воды в Полоцком регионе и возможности применения систем тонкой очистки по схеме прямого подключения к водопроводной сети.

Таблица 1

Результаты фильтрования водопроводной воды на различных типах мембран

Место взятия пробы	Исходная вода	Millipore, 0,45 мкм	МИФИЛ, 0,1 мкм	МИФИЛ ПА-20, 0,03 мкм	УАМ-50П, 0,005 мкм
Цветность	15	12	11	10	5
РН	6,92	7,14	6,78	6,52	6,34
Азот аммонийный, мг/л	0,21	0,21	0,12	0,1	0,04
Азот нитритов, мг/л	0,26	0	0	0	0
Азот нитратов, мг/л	0,64	0,62	0,52	0,45	0,12
Fe общее, мг/л	0,024	0,024	--	0,024	--
Взвешенные в-ва, мг/л	12,4	1,0	1,2	0,5	0
Бихроматная окисляемость, мг O ₂ /л	31,4	17,4	3,8	1,15	0,04
Жесткость об., мг-экв/л	4,3	4,3	2,4	1,5	0,8

Были проанализированы следующие образцы водопроводной воды. Водопроводная вода г. Новополоцка (подземные воды, прошедшие очистку и обезжелезивание на станции водоподготовки), г. Полоцка (поверхностные воды, прошедшие очистку на станции водоподготовки), колодезная вода из г.п. Ушачи и подземные воды, подаваемые в водопроводную сеть без очистки (некоторые населенные пункты совхоза «Красный партизан»). Анализы выполнялись в соответствии с ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая» [8] и представлены в таблице 2. Содержание сульфатов, хлоридов и нитратов, а также содержание тяжелых металлов во всех пробах находились в допустимых пределах и в таблице не приведены.

Таблица 2

Результаты анализа водопроводной воды Полоцкого региона

Место взятия пробы	ГОСТ 2874-82	г.Новополоцк				г. Полоцк	г.п. Ушачи	Совхоз «Красный партизан»
		ул. Молодежная 112	ПГУ	Городская больница	Водозабор, выпускная камера			
Цветность	<20	28	15	12	9	33	16	--
Запах, балл	<2	0	0	0	0	~ 1	0	--
Вкус	--	0	0	0	0	Слабо-желез.	0	--
РН	6,0-9,0	7,98	6,92	7,57	7,62	7,24	7,78	--
Азот аммонийный, мг/л	--	0,34	0,21	0,22	0,45	0,26	0,72	--
Азот нитритов, мг/л	--	0,02	0,26	0,14	0,1	0,01	0,13	0
Азот нитратов, мг/л	--	0	0,64	0,56	0,23	0,88	2,0	2,89
Fe общее, мг/л	<0,3	0	0,024	0,29	0,05	0,86	0,75	4,34*
Общая минерализация, мг/л	--	577,21	533,7	267,7	426,0	307,3	412,5	--
Взвешенные вещества, мг/л	--	--	12,4	12,5	6,1	16,2	14,8	72,0
Бихроматная окисляемость, мг O ₂ /л	--	--	31,4	24,8	17,8	15,5	32,2	28,3
Жесткость общая, мг-экв/л	<7,0	6,4	4,3	3,2	6,2	3,6	3,48	5,1

* Содержание железа в фильтрованной пробе 1,29 (Fe²⁺) и 0,42 (Fe³⁺), в нефильтрованной пробе 1,50 (Fe²⁺) и 2,84 (Fe³⁺).

Исследования показали, что в пробах водопроводной воды из поверхностных водоисточников, а также для совхоза «Красный партизан» содержание отдельных компонентов превышают значения, регламентируемые ГОСТом. Отмечается значительное превышение содержания железа в анализах воды, взятой из водопровода г. Полоцка (в 3 раза), водопровода совхоза «Красный партизан» (в 14,5 раза), колодца г.п. Ушачи (в 2,5 раза). Вода из водопровода г. Полоцка имела также повышенную цветность (в 1,5 раза), запах и слабый железистый вкус.

Питьевая вода из водопровода совхоза «Красный партизан» и колодезная вода г.п. Ушачи имеют высокие значения концентраций азота аммонийного и азота нитратов, что можно объяснить повышенным содержанием соединений азота в почве, и высокие концентрации взвешенных веществ.

При хороших средних показателях содержания железа в пробах, взятых из резервуаров чистой воды станции обезжелезивания г. Новополоцка (10 % от ПДК), наблюдались значительные превышения допустимых концентраций общего железа в местах отбора проб водопроводной сети города (см. Табл. 2). Еще большее превышение по общему железу зафиксировано 26.05.98 (место отбора проб – ПГУ) после проведенного местного ремонта водопроводной коммуникации (превышение 30 раз). Повышение загрязненности воды носило залповый характер: взвешенные вещества – 81,6 мг/л, общее железо – 10,44 мг/л.

Анализ водопроводной воды, взятой в Новополоцкой городской больнице (наиболее удаленное место от станции водоподготовки), лежащей в старой части города, показал, что содержание общего железа близко к предельному. Кроме того обнаружено большое количество мехпримесей.

Увеличение таких показателей водопроводной воды г. Новополоцка как взвешенные вещества и бихроматная окисляемость, в сравнении с соответствующими показателями отпускаемой воды дают основание предполагать, что причиной вторичного загрязнения воды являются продукты коррозии и биообрастания труб городской водопроводной сети.

Согласно оценкам Министерства жилищно-коммунального хозяйства республики [1], в стране более 60 % труб и сооружений из-за своего возраста находятся в ветхом состоянии. Подземные воды более чем в 70 % разведанных источников воды по своим природным качествам не соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию железа, марганца, аммиака и т.д. Свыше 50 % централизованных систем водоснабжения не имеют

очистных сооружений. Суммарная мощность станций обезжелезивания составляет около 55 % от необходимой.

Хотя количество взвешенных частиц жестко не регламентировано стандартом на питьевую воду (тем не менее [9] рекомендует количество взвешенных частиц не более 1,5 мг/л), их присутствие в значительных количествах в водопроводной воде может существенно ухудшить технико-экономические показатели системы тонкой очистки воды при ее прямом подключении к водопроводной сети. Возможны два сценария: 1) не оснащенные надежной защитой от мехпримесей система может быстро выйти из строя в результате отложения мехпримесей на рабочей разделительной поверхности или в поровом объеме; 2) быстрый выход из строя предфильтра тонкой очистки, являющегося дорогостоящим элементом системы [10, 11].

Рассмотрим два примера. 1. Ультрафильтрационная мембрана. При концентрации взвешенных веществ 12,4 – 12,5 мг/л, количество взвешенных веществ поступивших в систему тонкой очистки после обработки 1000 литров водопроводной воды равно 12,4 – 12,5 г. Принимая среднюю плотность загрязнений ~ 2000 кг/м³ и пористость осадка 0,3 получаем следующие оценки: толщина осадка на мембране с площадью 1 м² будет около 9 мм, с площадью 10 м² – 0,9 мм, соответственно. Площадь мембраны 10 м² соответствует 2 – 3 мембранным элементам длиной ~ 1 м [12]. Для мембраны УАМ – 50 константа проницаемости по чистой воде $A = 0,33 \cdot 10^{-2}$ кг/(м² с МПа) [13], следовательно при рабочем давлении 0,4 МПа и площади мембраны 10 м² имеем проницаемость по чистой воде 1,14 м³/сут. Если принять, что в режиме тангенциального фильтрования, характерного для большинства мембранных установок, в осадок переходит только 10% взвешенных частиц, то в течение суток отложившийся осадок достигнет толщины 0,1 мм.

2. Слой зернистого материала (адсорбент, ионит и т.п.). Примем объем зернистого материала 10 литров и его пористость 0,4, тогда объем порового пространства будет равен 4 литрам, а механизм отложения взвешенных частиц будет определяться законом глубинного фильтрования [14]. Полагая, толщину лобового слоя загрузки, где задерживается подавляющая часть загрязнений, равной 20%, получаем, что соотношение между объемом отложений и объемом лобового слоя равно 1%. Через две недели доля заиленного объема в лобовой части загрузки превысит, согласно сделанной оценке, 10%.

Приведенные выше численные примеры наглядно демонстрируют негативное воздействие повышенного содержания взвешенных веществ на систему тонкой очистки при

отсутствии стадии предварительной фильтрации. Более того, в ходе эксперимента с незащищенными мембранами при залповом увеличении концентрации в водопроводной воде взвешенного вещества мембраны за несколько часов безвозвратно вышли из строя.

Основываясь на данных таблицы 2, экспериментах с мембранами и численных оценках, сделанных выше, можно заключить, что для Полоцкого региона системы тонкой очистки прямого подключения нуждаются в дополнительной защите от механических примесей, поступающих с водопроводной водой независимо от типа исходной воды.

Выход из создавшегося положения, с нашей точки зрения, заключается в разработке надежной защиты для систем тонкой очистки воды, обеспечивающих потребность в высококачественной воде отдельных предприятий.

Для поиска средств защиты мембранных установок от повышенного содержания механических загрязнений в водопроводной воде путем фильтрования в качестве предфильтра для систем тонкой очистки воды были исследованы следующие фильтровальные материалы: ткань «Бельтинг», трикотажный материал ПТТФ-36 и микрофильтр-мембрана фирмы «Millipore».

Микрофильтрационная мембрана «Millipore» является стерилизующим фильтром, изготовлена из нитроцеллюлозы и имеет средний диаметр пор 0,45 мкм.

Фильтровальная хлопчатобумажная ткань «Бельтинг» является типичным фильтром широко применяемым в технике разделения дисперсных систем, производится в Российской Федерации [15]. Тонкость фильтрации «Бельтинг» составляет 5-10 мкм, гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки $2,4 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$, толщина 1,85 мм.

Материал ПТТФ - новое перспективное лавсановое трикотажное полотно [16, 17], разработанное в Республике Беларусь в Витебском государственном технологическом университете с использованием в качестве сырья волокон производимых в республике. Фильтровальный материал представляет собой трикотаж с покровно-прессовым соединением двух полотен и вязанными между ними уточными нитями. ПТТФ имеет низкое гидравлическое сопротивление и хорошо зарекомендовал себя при фильтровании различных дисперсных сред [18]. Тонкость фильтрации ПТТФ-36 составляет 9 мкм, сопротивление фильтрующей перегородке $4,6 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$, что на порядок ниже, чем у «Бельтинга» при толщине 1,7 мм. По своим характеристикам материалы типа ПТТФ не уступают зарубежным аналогам [19].

Результаты исследования выбранных предфильтров для понижения количества

взвешенных частиц в водопроводной воде подаваемой на систему тонкой очистки представлены в таблице 3. Место отбора воды – лаборатория 307, ПГУ. Для сравнения в таблице 3 приведен состав промывной воды (регенерат предфильтра ПТТФ) после промывки засоренного материала ПТТФ обратным током.

Таблица 3

Результаты исследования фильтрации водопроводной воды различными фильтровальными материалами.

Характеристики	Исходная вода	Регенерат предфильтра ПТТФ	Предфильтр		
			Millipore	ПТТФ	Бельтинг
Цветность	15	35	12	9	9
Азот нитритов, мг/л	0,26	0,44	0	0	0
Железо общее, мг/л	0,024	0,25	0,024	0,024	0,024
Общая минерализация, мг/л	533,7	592,2	325,1	346,3	336,2
Взвешенные в-ва, мг/л	12,4	60,6	1,0	2,2	0,9
Бихроматная окисляемость мг O ₂ /л	31,4	67,6	13,5	16,8	18,2
Жесткость об., мг-экв/л	4,3	--	4,71	4,52	4,5

Из таблицы 3 видно, что все фильтровальные материалы, выбранные в качестве предфильтра, в той или иной степени снижают цветность воды, бихроматную окисляемость и концентрацию взвешенных веществ. Осадок на фильтрах имел бурый цвет.

При подборе предфильтра важно чтобы предварительный и мембранный фильтры были правильно согласованы друг с другом [2]. Если предфильтр окажется слишком грубым, то большая часть загрязнений попадет в мембранный модуль, однако, если предфильтр будет слишком тонким, то быстро выйдет из строя. Поэтому необходима такая комбинация предфильтра и мембраны, чтобы они забивались примерно за одно и то же время.

Примером слишком тонкого фильтра для условий эксперимента является

микрофильтрационная мембрана «Milliroge». Задерживая подавляющее большинство механических примесей с формированием на поверхности плотного осадка, микрофильтрационная мембрана быстро теряет проницаемость. При фильтровании $10 \text{ м}^3/\text{м}^2$ исходной воды мембрана «Milliroge» полностью вышла из строя.

Ткань «Бельтинг» также представляет собой фильтр, работающий преимущественно по режиму поверхностной фильтрации с образованием осадка, что приводит к быстрой потере производительности. Производительность «Бельтинга» при фильтровании $400 \text{ м}^3/\text{м}^2$ исходной воды снижается до 35 % от первоначальной, в то время как производительность ПТТФ-36 при фильтровании того же удельного объема воды снижается только до 54 % от начального значения.

В отличие от «Milliroge» и «Бельтинг», материал ПТТФ-36 работает как объемно-поверхностный фильтр, задерживая часть примесей на поверхности и часть в объеме материала. Обладая более низким гидравлическим сопротивлением он является предпочтительным в качестве предфильтра. Более того, если мембранный микрофильтр и ткань не восстанавливают свою проницаемость при регенерации обратной промывкой, то ПТТФ может быть регенерирован и использован многократно.

Противоточная промывка водой обеспечила восстановление проницаемости ПТТФ на 60% от первоначальной и может быть многократной [20]. Регенерация ПТТФ с использованием химических реагентов путем обработка в кислой среде восстанавливает пропускную способность материала на 80% от первоначальной. Ресурс предфильтра из ПТТФ-36 до химической регенерации оценивался величиной $\approx 6000 \text{ м}^3$ водопроводной воды на 1 м^2 поверхности фильтрования.

Основываясь на результатах экспериментов с использованием воды новополоцкой водопроводной сети можно сделать следующие выводы.

1. Для Полоцкого региона системы тонкой очистки прямого подключения нуждаются в дополнительной защите от взвешенных веществ, поступающих с водопроводной водой независимо от типа исходной воды.

2. Плохое состояние водопроводных сетей является основной причиной снижения качества водопроводной воды, поступающей к потребителю даже при ее соответствии стандарту. При транспортировке по старым металлическим трубам качество воды ухудшается из-за продуктов коррозии и биообрастания.

3. В связи с пп. 1 и 2. даже при использовании воды, качество которой соответствует

ГОСТ, существует необходимость защиты систем тонкой очистки воды с помощью предварительного фильтрования.

4. Наиболее целесообразным фильтровальным материалом для использования в предфильтрах с точки зрения эксплуатационных характеристик, цены и происхождения является трикотажное полотно ПТТФ. Его производство возможно на базе Витебского государственного технологического университета.

5. Для разработки систем защиты необходимы дополнительные исследования по оптимизации системы предфильтр - система тонкой очистки, которые выполняются в настоящее время и будут представлены в следующем выпуске сборника.

Литература

1. «Республиканская программа первоочередных мер по улучшению снабжения населения питьевой водой», одобрена постановлением Совета Министров РБ от 02.06.1998 г. №871, Минск, 1998. – 91 с.
2. Брок Т. Мембранная фильтрация: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 464 с.
3. Pure Water Handbook, Osmonics, Inc. – 1991, pp. 119 .
4. Новая концепция организации мембранных процессов / Гребенюк В.Д. // Мембр. методы разделения смесей: Тез. докл., Владимир, 23-27 дек., 1991. – Черкассы, 1991. С. 104-105.
5. J. Weyand, Computer-assisted design of microfiltration systems // What the filterman needs to know about filtration, AIChE Symposium Series, 1977, Vol. 73, N 171, pp. 65-70.
6. Honig E.S., Schwartz P.D., Impact of Design and Selection of Prefilters on Operating Cost // Filtration & Separation, Jan/Feb 1997, page 73-78.
7. Summerford K., and Quartermaine B. «The importance of pretreatment for RO systems», Water Conditioning and Purification Magazine, Vol.40, № 1, p. 84-87 (1998).
8. ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая», М: Издательство стандартов. – 1984 – С. 3-5.
9. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 440 с.
10. Ельшин А.И. Тенденции развития фильтрования и фильтровального оборудования // Обзорн. информация. Сер.ХМ-1. Химическое и нефтеперерабатыв. машиностроение. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. - 44 с.

11. Yelshin A. Filtration in the USSR - the companies and the technology // *Filtr. & Separ.*-1991.-28, N5.-p.322-323.
12. Дытнерский Ю. И. Обратный осмос и ультрафильтрация. – М.: Химия, 1978. – с. 143.
13. Борисов Г. С., Брыков В. П., Дытнерский Ю. И. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991. – 334 с.
14. Веницианов Е. В., Рубинштейн Р. Н. Динамика сорбции из жидких сред. – М.: Наука, 1983. – 237 с.
15. Малиновская Т.А. и др. Разделение суспензий в химической промышленности – М.: Химия, 1983. – 264 с.
16. ТУ 40 БССР 02-53-90. Полотно трикотажное техническое фильтровальное (ПТТФ).- Вводятся впервые: Введ. 01.01.91. Минск: Белстандарт, 1989. – 10 с. Группа М 41
17. Коган М.А. Разработка технологии трикотажа для фильтрования суспензий.: Дисс. канд. техн. наук: 05.19.03 – Витебск – 1995 – 184 с.
18. Ельшин А.И., Путинцев С.А., Петрова В.А., Волков В.К. и др. Применение трикотажных материалов в качестве фильтровальных элементов для разделения суспензий // *Химическая промышленность*, 1989, №2, С. 137-138.
19. Yelshin, A. Developing knitted fabric filter media for liquid filtration, *Filtration & Separation*, UK, 1990, Vol. 27, No. 3, pp. 169-170.
20. Волков В.К., Вегера А.И., Жаркова О.Н. и др. Применение трикотажных материалов ПТТФ в качестве предфильтров в мембранных установках. Сборник докладов межд. науч.-техн. конференции «Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении» Республика Беларусь, Витебск: ВГТУ, 1998. – С. 284-285.