

## ФІЗІКА-ХІМІЧНЫЯ ПРАБЛЕМЫ ЭКАЛОГІІ

УДК 628.1

А. И. ЕЛЬШИН, А. И. ВЕГЕРА, И. А. ЕЛЬШИНА

### ВЛИЯНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ НА ЕЕ ФИЛЬТРАЦИЮ

Вода как питьевая, так и техническая имеет разнообразное применение в народном хозяйстве. В ряде случаев к воде предъявляются повышенные требования, что обеспечивается с помощью систем тонкой очистки воды.

Системы тонкой очистки воды включают в себя разнообразные процессы: фильтрование, разделение с помощью полупроницаемых мембран, адсорбцию, ионный обмен, дистилляцию и др. Ниже внимание будет уделено системам тонкой очистки, включающим элементы чувствительные к присутствию в воде взвешенных веществ: фильтры, мембраны, слои зернистых материалов. Для перечисленных элементов характерно отложение привносимых водой избыточных взвешенных веществ на поверхности или в объеме пористого слоя, что ведет к росту гидравлического сопротивления элементов и их преждевременному выходу из строя [1, 2].

Причиной повышенного содержания взвешенных веществ в воде, прошедшей первичную очистку, может служить ее повторное загрязнение продуктами коррозии и биообрастания трубопроводов во время пребывания и транспортировки в водопроводной сети города или предприятия [3]. Повышение количества взвешенных веществ и показателя окисляемости существенно снижают технико-экономические характеристики системы тонкой очистки воды при прямом подключении к водопроводной сети.

Измерение таких стандартных показателей качества воды как цветность, бихроматная или перманганатная окисляемость воды, содержание взвешенных веществ и т.п. дает представление о возможных воздействиях загрязнений на функционирование перечисленных выше очистных элементов. Тем не менее, совокупность этих стандартных показателей не является достаточным условием оценки работоспособности фильтрующих элементов при избыточном количестве взвешенных веществ.

Ввиду низкой концентрации вторичных загрязнений в водопроводной воде, эффективность отфильтровывания дисперсной фазы более рационально контролировать не по группе параметров, а по интегральному показателю, отражающему совокупный вклад всех переменных в процесс фильтрования.

Из-за большого разнообразия фракционного состава дисперсной фазы и физико-химических свойств дисперсных систем обязательным в практике разделения дисперсных систем является определение фильтрационных свойств системы экспериментальным путем. С целью получения воспроизводимости и сопоставимости результатов фильтрования, процедуру фильтрования осуществляют в определенных условиях [4]. Продолжительность фильтрования пробы зачастую служит косвенным показателем чистоты жидкости [5–7].

Метод пробного фильтрования воды различается по процедуре и способу представления результатов фильтрования [7]. Одним из таких показателей фильтруемое™ воды является индекс плотности осадка. Индекс плотности осадка (*SDI*) предназначен для оценки качества входной воды для обратноосмотических установок и рекомендован стандартом ASTM D4189-82 [8]. Метод характеризует способность воды, содержащей взвешенные вещества, фильтроваться через мембранный микрофильтр [7]. Чем больше взвешенных веществ содержится в воде, тем меньше скорость фильтрования и тем больше величина индекса *SDI*. Например, для обратноосмотических установок при очистке воды производители рекомендуют *SDI* в пределах 3–5 единиц [7, 9, 10].

Для расчета упомянутого выше индекса сначала определяется время фильтрования  $t$  фиксированного объема воды  $V$  (обычно 500 или 100 мл) через мембрану Millipore диаметром 47 мм и с размером пор 0,45 мкм. После интервала времени от начала процесса фильтрования  $T$ , принимаемого равным, например, 15 мин (или 5 мин), повторяется замер времени фильтрования  $t/2$  указанного объема воды  $V$ . Процесс проводится при постоянном давлении фильтрования  $\Delta p = 210$  кПа. Время фильтрования  $t_1$  и  $t_2$  служит для расчета индекса плотности осадка  $SDI$  [10]:

$$SDI = [(1 - t_1/t_2)/T] \cdot 100, \quad t_1 \ll T. \quad (1)$$

Индекс  $SDI$  имеет размерность %/мин, которую обычно опускают, пользуясь только численным значением индекса плотности осадка [8—14]. Как следует из уравнения (1),  $SDI$  зависит от выбранного объема  $V$  и интервала между замерами  $T$ . Имеющиеся ограничения метода по переносу результатов измерения непосредственно на засорение фильтров, мембраны и работу других сепарирующих элементов систем тонкой очистки воды, делают индекс  $SDI$  весьма условным качественным показателем.

Комитет по воде ASTM рекомендует  $SDI$  как метод оценки количества загрязнений в воде поступающей на мембранную установку [14]. Наряду с этим, измерение индекса плотности осадка может быть полезно и для оценки фильтруемости вторичных загрязнений в водопроводной воде, так как с помощью  $SDI$  может быть получена информация о гидравлическом сопротивлении осадка.

Цель данной работы — определить характер вторичных дисперсных загрязнений в водопроводной воде и возможность использования для этого  $SDI$ . В качестве примера рассмотрены два вида водопроводной воды, прошедшей первичную обработку: воды из городской и производственной водопроводных сетей.

**Исследование дисперсной фазы вторичных загрязнений воды.** Рассмотрим два вида водопроводной воды, прошедшей первичную обработку: вода из городской и производственной водопроводных сетей. Если источником для первой системы является артезианская вода, то для второй — речная, однако в обоих случаях наблюдалось изменение показателей качества воды по сравнению с соответствующими показателями достигнутыми на стадии первичной обработки.

**Техническая вода ПО «Полимир» (г. Новополоцк).** На предприятии применяется следующая технология очистки исходной воды: обработка коагулянтном; смешение с флокулянтном и осветление воды в горизонтальных отстойниках; фильтрование на скорых двухслойных фильтрах; сорбция органических веществ и их продуктов окисления на угольных фильтрах. В производстве волокна «Нитрон» вода используется для приготовления прядильного раствора. Повышенные требования к потребляемой воде вызывают необходимость ее дополнительной очистки путем обессоливания ионным обменом, поэтому качество технической воды поступающей из цеха водоподготовки играет немаловажную роль в процессе деионизации.

На рис. 1 представлены усредненные по интервалу месяца данные за 1999—2000 гг. некоторых показателей речной, очищенной и поступающей на установку обессоливания воды, позволяющих судить о вторичном загрязнении воды по цветности, окисляемости и содержанию железа. Пунктирные линии соответствуют регламентным показателям на воду перед ионообменной очисткой.

Как следует из графиков, (рис. 1), несмотря на сезонные колебания показателей исходной воды, после водоподготовки отпускаемая техническая вода имеет достаточно стабильные показатели. Однако при поступлении воды на узел обессоливания цветность, окисляемость и содержание железа имеют более высокие значения по сравнению с показателями отпускаемой технической воды. Наблюдаемое явление может быть вызвано дополнительным (вторичным) поступлением загрязнений в виде продуктов коррозии и биообрастания элементов трубопроводов и запорной арматуры.

Для подтверждения присутствия в воде вторичных загрязнений в виде дисперсной фазы, техническая вода фильтровалась через трикотажный лавсановый фильтр ПТТФ 36.0.15 поверхностно-объемного типа фильтрования [15, 16] с тонкостью фильтрования — 10 мкм, сопротивлением фильтрующей перегородки —  $4,4 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$ , толщине  $1,57 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ , средним размером пор — 20 мкм или мембранный микрофильтр фирмы Gelman с размером пор 0,45 мкм. В результате фильтрования через трикотажный материал ПТТФ воды, поступающей на установку обессоливания, наблюдалось снижение окисляемости на 14—16%, цветности на 20—25%, содержание железа на 13—27%.

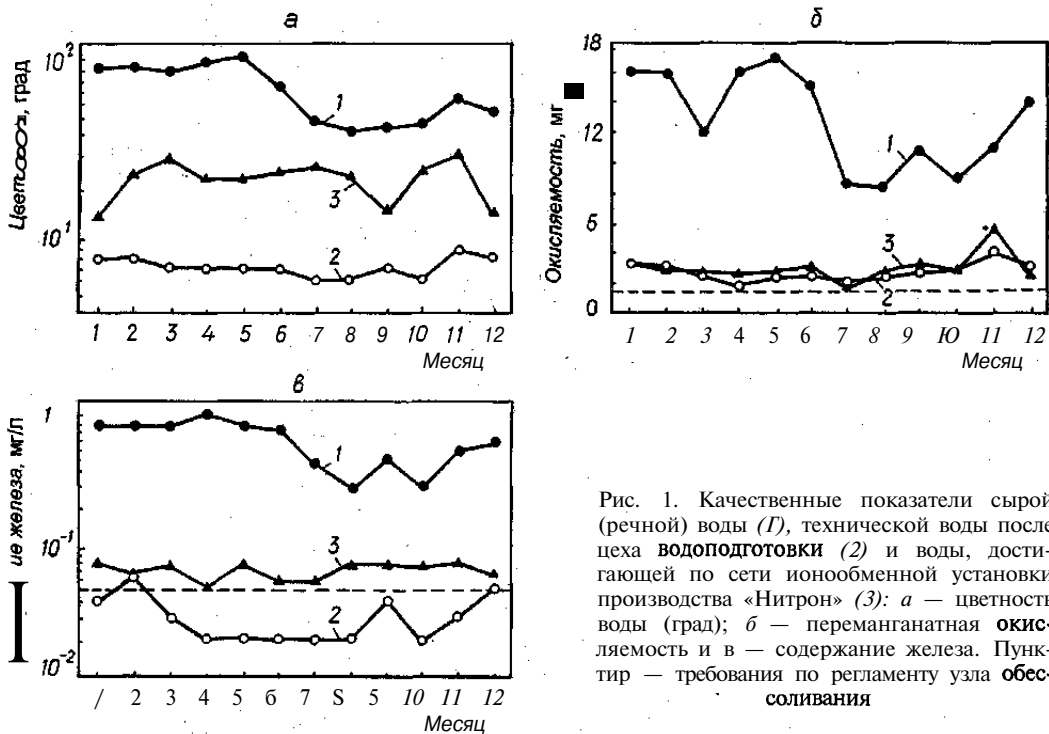


Рис. 1. Качественные показатели сырой (речной) воды (1), технической воды после цеха **ВОДОПОДГОТОВКИ** (2) и воды, достигающей по сети ионообменной установки производства «Нитрон» (3): а — цветность воды (град); б — перманганатная **ОКИСЛЯЕМОСТЬ** и в — содержание железа. Пунктир — требования по регламенту узла **обессоливания**

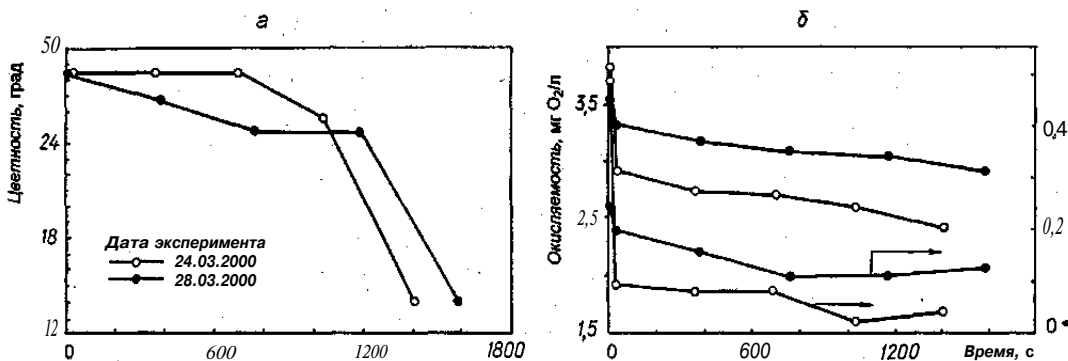


Рис. 2. Изменение цветности воды (а), **ОКИСЛЯЕМОСТИ** и содержания железа (б) в зависимости от длительности фильтрования воды через микрофильтр при  $Ar = 0,3$  МПа

Фильтрование воды через микрофильтрационную мембрану (размер пор 0,45 мкм) приводит к еще более значительным изменениям в измеренных показателях (рис. 2). Из представленных на рис. 2 данных видно, что микрофильтр обладает более высокой селективностью как по органической, так и минеральной составляющим загрязнений. К концу 25-минутного цикла фильтрования цветность понижается в 2 раза, окисляемость в 1,5 раза, содержание железа в 2 и более раз, а поверхность мембраны приобретала насыщенный бурый цвет.

Таким образом, фильтрованием можно обеспечить снижение следующих показателей: цветности и содержания железа на 50%, а также окисляемости на 30%. При этом очевидно, что вторичные загрязнители присутствуют в виде дисперсной фазы с размером частиц до 10 мкм.

Наличие взвешенных веществ подтверждается величиной индекса плотности осадка *SDI*, измеренного для объема  $V = 500$  мл и  $T = 15$  мин. Индекс плотности осадка для технической воды поступающий на установку обессоливания находился в пределах 5,33–6,38 единиц, что свидетельствует о высоком гидравлическом сопротивлении осадка.

**Вода водопроводной сети г. Новополюска.** Артезианская вода, прошедшая очистку и обезжелезивание на станции водоподготовки, соответствует всем показателям СанПиН 10-124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Тем не менее, мониторинг качества водопроводной воды в удаленных от станции водоподготовки точках отбора, проводимый в течение

2-х лет, показал, что средний уровень концентрации взвешенных веществ находится в пределах 10–13 мг/л, цветности — 14–17 градусов и концентрации железа общего — 0,024–0,3 мг/л. Определенный индекс плотности осадка находился в пределах 4,97–6,35 единиц.

Сравнительное фильтрование на трикотажном материале ПТТФ показало, что после фильтра индекс *SDI* снижался до 3,5–4 единиц. Фильтрование технической и водопроводной воды через материал ПТТФ демонстрирует вклад грубодисперсных частиц вторичных загрязнений в величину индекса *SDI*.

Результаты экспериментов по фильтрованию водопроводной воды через различные типы мембран (с различным размером пор) представлены в таблице. Показатели исходной воды во всех экспериментах варьировали в пределах не более  $\pm 15\%$  от приведенных в данной таблице. Отклонение экспериментальных данных относительно среднего значения не превышало 5–10%.

**Осредненные результаты фильтрования городской водопроводной воды на различных типах мембран**

Показатель	Исходная вода	Gelman, 0,45 мкм	МИФИЛ, 0,1 мкм	МИФИЛ ПА-20, 0,03 мкм	УАМ-50П, 0,005 мкм
Цветность	15	12	И	10	5
Fe общее, мг/л	0,024	0,024	0,022	0,02	—
Взвешенные вещества, 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 общая, мг-экв/л	4,3	4,3	2,4	1,5	0,8

Как следует из таблицы, качественные характеристики очищенной воды существенно улучшаются в направлении уменьшения размера пор от мембранных микрофильтров (Millipore → МИФИЛ) к ультрафильтрам (МИФИЛ ПА-20 → УАМ-50П). Наблюдается уменьшение концентрации взвешенных веществ, бихроматной окисляемости, снижается цветность и жесткость. Подчеркнем, что уровень снижения цветности и окисляемости на мембране с размером пор 0,45 мкм того же порядка, что и наблюдаемый для технической воды. Рабочая поверхность мембраны была покрыта слоем осадка коричнево-оранжевого цвета, что было характерно и для вторичных загрязнений технической воды.

Дисперсный состав загрязнений, присутствующих в водопроводной воде, оценивался микроскопическим анализом. Для анализа использовался мембранный фильтр Gelman (размер пор 0,45 мкм), (рис. 3), который просветлялся перед микроскопическим исследованием.

Микроскопический анализ взвешенных веществ в водопроводной воде показал следующее. Частицы имеют большой диапазон распределения по размерам и преимущественно черно-коричневую и бурую окраску, причем крупные частицы неправильной формы могут быть идентифицированы как частицы ржавчины. Частицы тонкодисперсной фазы имеют более округлую форму. В целом дисперсный состав загрязнений можно охарактеризовать следующим соотношением: тонкодисперсная фракция (размер менее 2 мкм) — 55–60% и крупнодисперсная фракция (размер более 5 мкм) — 40–45%. Распределение частиц по размерам носит четко выраженный бимодальный характер. Условно его можно свести к двум фракциям взвешенных частиц: тонкодисперсные частицы со средним размером  $d = 0,5$  мкм и грубодисперсные частицы со средним размером около  $D = 10$  мкм, что аналогично данным, полученным на технической воде. При таком фракционном составе средний размер частиц  $d_{ср}$  в бинарной смеси составил  $d_{ср} \approx 1$  мкм.

Осадки, формируемые смесями частиц с отношением размеров  $D/d$  более 5 и фракционным составом, подобным приведенному выше, обладают низкой пористостью, а следовательно, высоким гидравлическим сопротивлением.

Измерение качества воды в ряде населенных пунктов Полоцкого региона показало превышение у потребителя содержания железа и взвешенных веществ в водопроводной воде независимо от типа источника водоснабжения и наличия централизованных систем водоподготовки, что определяется состоянием водопроводных сетей [3]. На содержание железа в водопроводной воде, помимо состояния водопроводных сетей, существенное влияние оказывает степень агрессивности воды по отношению к металлу водопроводных сетей, в силу чего, формируются совершенно разные уровни вторичного загрязнения по железу.

**Обсуждение результатов.** Выполненные выше исследования позволяют заключить, что при использовании водопроводной воды в качестве исходной для систем тонкой очистки следует обратить внимание на возможное наличие в ней вторичных дисперсных загрязнений в виде продуктов коррозии и биообрастания трубопроводных коммуникаций. Вторичные загрязнения вносят существенный вклад в ухудшение таких показателей воды как цветность, окисляемость, содержание железа и взвешенных веществ. Для предварительной оценки влияния вторичных загрязнений на мембранные элементы, в которых могут отфильтровываться загрязнения,

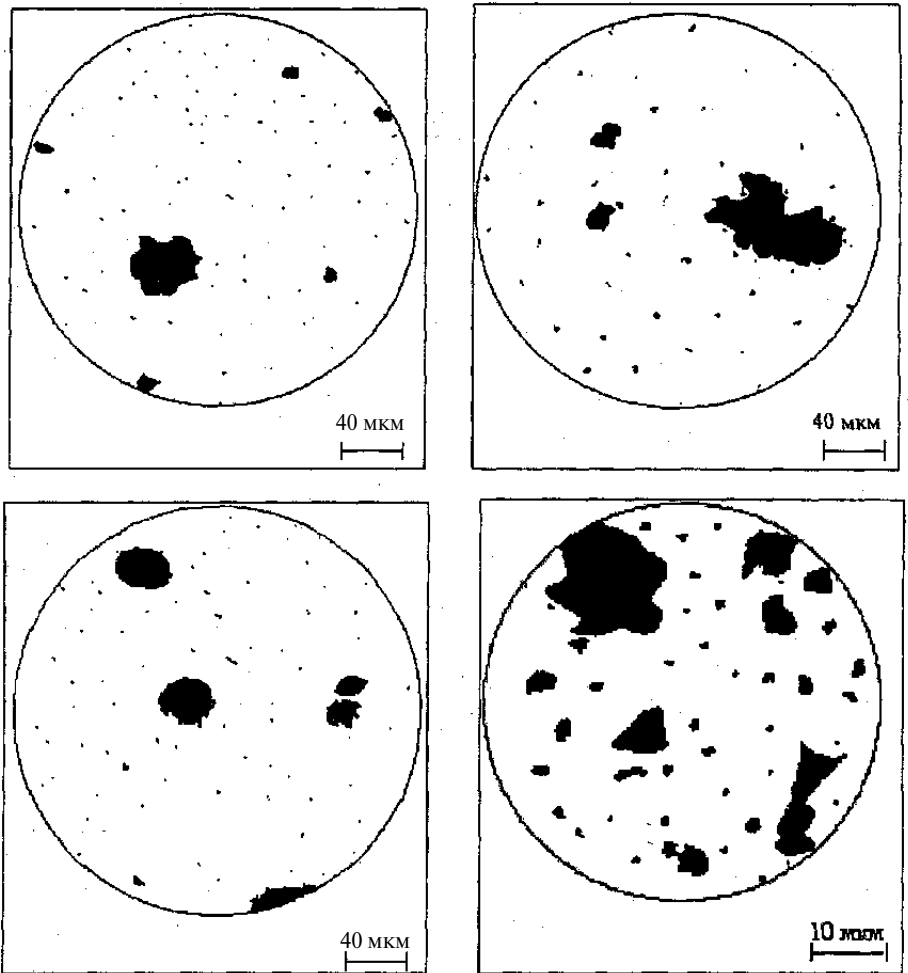


Рис 3. Примеры образцов микроизображений осадка на мембране Gelman, образовавшегося при фильтровании водопроводной воды. Изображения переведены в черно-белый формат путем обработки с помощью Corel PHOTO-PAINT®

может быть использован индекс плотности осадка *SDI*.

Если предположить, что процесс фильтрования при определении *SDI* протекает по закону образования осадка, то соотношения, связывающие концентрацию дисперсной фазы и удельное сопротивление осадка с величиной измеряемого показателя фильтруемое™ воды, могут дать дополнительную информацию об осадке.

Используя уравнение фильтрования с образованием осадка

$$t = Mq^2 + Nq, \quad (2)$$

и общее выражение *SDI* формула (1), может быть получено следующее соотношение [3]:

$$SDI = \left\{ 1 - \frac{Mq + N}{Mq + \sqrt{N^2 + 4 \cdot 60MT}} \right\} \frac{100}{T}, \quad (3)$$

где *T* выражено в минутах; *t* — время фильтрования, с; *q* — удельный объем фильтрата  $q = V/S, \text{ м}^3/\text{м}^2$ ; *S* — площадь фильтрования,  $\text{м}^2$ ;  $M = \mu\alpha_0 x_0 / (2\Delta p)$ ;  $N = \mu R_m / \Delta p$ ;  $\mu$  — вязкость жидкой фазы, Па·с;  $\alpha_0$  — удельное объемное сопротивление осадка,  $\text{м}^{-2}$ ;  $x_0$  — отношение объема осадка к объему фильтрата;  $R_m$  — сопротивление фильтрующей перегородки (мембраны),  $\text{м}^{-1}$ .

Теоретически уравнение (3) позволяет определить  $M - \mu\alpha_0 x_0 / (2\Delta p)$  или  $\alpha_0 x_0$ , если известен индекс *SDI* и гидравлическое сопротивление чистой мембраны  $R_m = R_{m0}$  ( $N = N_0$ ), а остальные величины фиксированы в ходе измерений. Однако на практике процедура измерения *SDI* не дает никакой информации о законе фильтрования, который может отличаться

SDI, %/мин

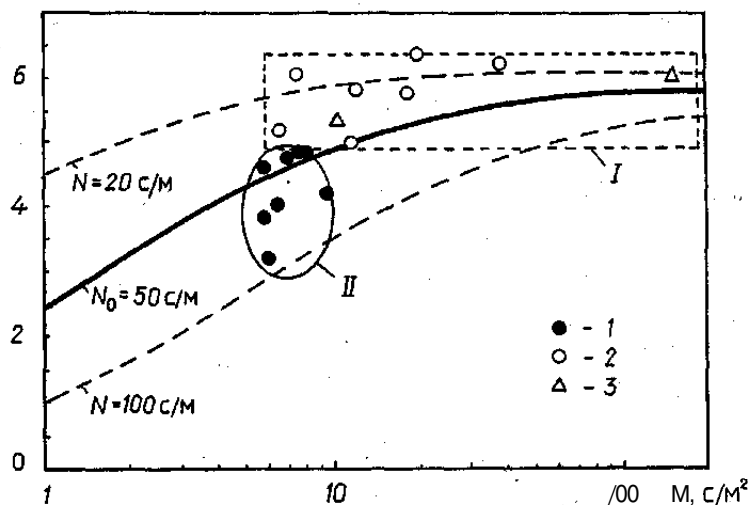


Рис. 4. Зависимость индекса плотности осадка  $SDI$  от комплекса  $M = \mu\alpha_0 x_0 / (2\Delta p)$ , характеризующего свойства осадка и концентрацию дисперсной фазы. Значение  $SDI$  получено на мембране Gelman: 1 — водопроводная вода после предочистки на ПТТФ; 2 — водопроводная вода; 3 — техническая вода

SDI, %/мин

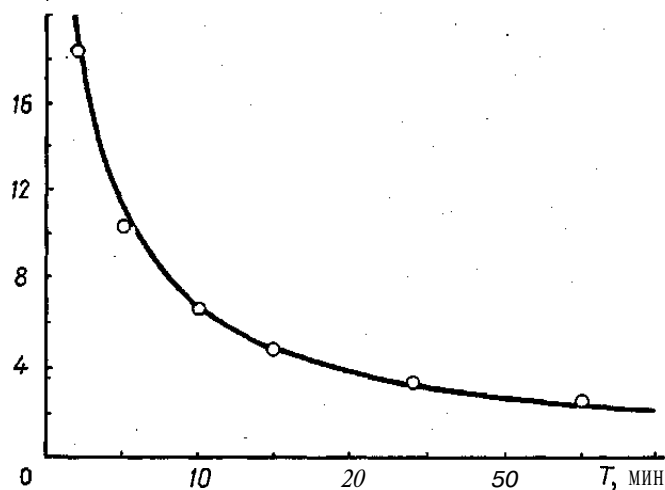


Рис. 5. Зависимость измеренного индекса плотности осадка  $SDI$  от интервала времени  $T$  (точки) и рассчитанного по уравнению (3) — кривая. В расчетах приняты  $N = 50$  с/м и  $q = 0,37$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> и  $M$

$$\sqrt{b^2 - 4ac} = 10 \text{ с/м}^2 = \text{const}$$

Обобщая данные изложенные выше, можно заключить, что фильтрование позволяет частично скорректировать как показатель  $M$ , так и связанные с ним значения цветности воды, окисляемости, содержание железа. Более углубленные исследования о роли предфильтрации в технологии очистки воды от вторичных загрязнений, приведены в [3].

Основываясь на теоретической модели (3) и используя показатель чистой микрофильтрационной мембраны  $N_0$  равный 50 с/м, на рис. 4 показана идеализированная зависимость  $SDI$  от  $M$  при  $N_0 = 50$  с/м. Для сравнения на этом же рисунке нанесены кривые для  $N = 20$  и 100 с/м. Сопоставление теоретической зависимости при  $N_0 = 50$  с/м и измеренного индекса плотности осадка показывает, что все значения  $SDI$  могут быть разделены на три группы.

от линейного закона фильтрования с образованием осадка (2). При нелинейном законе фильтрования в координатах  $t/q - q$  уравнение (3) будет давать некоторую среднюю величину комплекса  $M$ . Более того, если при измерении индекса плотности осадка фильтрование сопровождается закупоркой пор микрофильтра, то величина  $N$  будет больше  $N_0$ . Таким образом, имея теоретическую зависимость (3) и измеренные значения  $SDI$  можно качественно оценить насколько отличается процесс фильтрования от идеального.

На рис. 4 представлены измеренные значения индекса  $SDI$  для следующих условий: объем пробы 500 мл и  $T = 15$  мин. Величина  $M$  определялась по уравнению (2) из параллельно проводимых опытов по непрерывному фильтрованию на линейном участке фильтрационной характеристики  $t/q - q$ .

Как следует из рис. 4, предварительное фильтрование исходной водопроводной воды улучшает ее фильтрационные свойства, в результате индекс плотности осадка  $SDI$  снижается до 4—3,5 единиц (см. область II, отмеченную на рис. 4). Кроме того, достигается стабилизация свойств фильтрованной воды, характеризуемых комплексом  $M$ . Если вариация коэффициента  $M$ , включающего удельное сопротивление осадка и концентрацию, для исходной воды лежит в диапазоне 6,4—102 с/м<sup>2</sup> (область I), т. е. изменяется в 15,9 раза, то после фильтрования через ПТТФ уменьшает как его среднее значение, так и диапазон вариации  $M = 5,7 - 9,5$  с/м<sup>2</sup> (1,7 раза), область II. Диапазон вариации комплекса  $M$  уменьшился почти на порядок только за счет предварительного фильтрования.

1. Значения близкие к теоретическому прогнозу — фильтрование с образованием осадка без закупорки пор мембраны.

2. Значения расположенные существенно ниже теоретической кривой (область между  $N_0 = 50$  и  $100$  с/м) — характеризуемая частичным закупориванием пор микрофильтра. Оценка показателя  $N$  по фильтрационным характеристикам подтвердила увеличение в определенных опытах  $N$  с  $50$  до  $100$  с/м. В этой области находятся измерения полученные для фильтрованной через ПТТФ воды. Частичная закупорка пор мембраны вызвана снижением среднего размера частиц загрязнений и одновременным уменьшением их концентрации в воде. Однако увеличение  $N$  компенсируется снижением сопротивления осадка.

3. Значения  $SDI$  расположенные выше теоретической кривой, очевидно, не связаны с гидравлическим сопротивлением мембраны, так как показатель  $N$  не может быть меньше  $N_0 = 50$  с/м. Эта область характеризуется нелинейностью фильтрационных характеристик в координатах  $t/q - q$  и истинное среднее сопротивление осадка (комплекс  $M$ ) больше  $M$ , определенного на линейном участке фильтрационной характеристики по уравнению (2). Более подробно это явление рассмотрено в [3].

Таким образом, сопоставление измеренных значений  $SDI$  с теоретическими позволяет качественно оценить характер процесса фильтрования воды через мембранный микрофильтр, а также характер примесей содержащихся в воде.

Следует иметь в виду, что согласно уравнению (3), индекс плотности осадка  $SDI$  не является линейной функцией как  $T$ . Если принять  $M = \text{const}$ , то зависимость  $SDI$  от  $T$  имеет экспоненциальный характер, (рис. 5). Для оценки корректности выбранного интервала времени  $T$  между двумя замерами времени фильтрования  $t_1$  и  $t_2$  при фиксированном удельном объеме фильтрования  $V = 500$  мл проведены измерения  $SDI$  для различных интервалов  $T$  на технической воде, (рис. 5). Для сравнения на рис. 5 нанесена расчетная кривая при  $N = 50$  с/м и  $M = 10 \text{ с/м}^2 = \text{const}$ .

Анализ рис. 5 показывает, что при значениях интервала времени  $\Gamma$  менее  $15$  мин увеличивается расхождение между расчетным и измеренным  $SDI$ . Кроме того, уменьшение интервала времени  $\Gamma$  менее  $15$  мин может затруднить определение индекса плотности осадка воды с высоким сопротивлением осадка (случай, когда может оказаться, что  $t_1 \geq T$ ). Увеличение  $\Gamma$  более  $15$  мин ведет к сужению диапазона возможных значений  $SDI$ . Таким образом, рекомендуемая величина интервала времени  $T$  для оценки вторичных загрязнений воды водопроводных систем различного назначения при объеме фильтрования воды  $V$  равным  $500$  мл может быть принята равной  $15$  мин.

## Выводы

Эксперименты показали, что причиной происхождения вторичных загрязнений водопроводной воды в системе питьевого и технического водоснабжения являются продукты коррозии и биообрастания. Эти загрязнения имеют косвенное влияние на такие показатели, как цветность, окисляемость и концентрация железа.

Для качественной оценки наличия вторичных загрязнений может быть использован индекс  $SDI$ , который зависит от концентрации взвешенных веществ и проницаемости образуемого осадка.

Установлено, что предварительное фильтрование воды с помощью обыкновенных фильтров, например, трикотажных, позволяет улучшить показатели воды как по фильтруемости ( $SDI$ ), так и частично снизить цветность воды, окисляемость, содержание железа (см. рис. 2 и таблицу).

Предварительное фильтрование исходной воды стабилизирует ее фильтрационные свойства за счет уменьшения вариации комплекса  $M$ , включающего удельное сопротивление осадка и концентрацию. В проведенных экспериментах были достигнуты следующие показатели: для исходной воды  $M$  лежит в диапазоне  $6,4-102 \text{ с/м}^2$ , т.е. изменяется в  $15,9$  раза; фильтрование воды через ПТТФ уменьшает среднее значение и диапазон вариации  $M$  до  $5,7-9,5 \text{ с/м}^2$  ( $1,7$  раза).

На основе сопоставительного анализа рекомендуемый интервал времени между двумя замерами времени фильтрования  $T$  при определении  $SDI$  при объеме фильтрования воды  $V$  равным  $500$  мл для различных водопроводных систем может быть принят равным  $15$  мин.

## Summary

The results of a research with secondary water contamination of urban and industrial water supply systems is presented. It was found that products of corrosion and **bio-fouling**, which **indirectly** influence on such parameters as turbidity, total organic **concentration** and iron concentration are the reasons of secondary pollution of tap water in systems of drinking and technical water supplies. For qualitative valuation of secondary pollution availability and filterability of water a silt density index (**SDI**) can be used. It was shown that water **pre-filtration** through the ordinary filters, for example, the knitted ones, improves parameters of water (**filterability**, turbidity, total organic concentration etc). On the basis of the data obtained a modified of SDI calculation is developed for different water **systems**.

## Литература

1. Ельшин А. И., Вегера А. И. // **Весті НАН Беларусі**. Сер. хім. навук. 2000. № 1. С. 124—128.
2. Ельшин А. И., Вегера А. И. // **Материалы, технологии, инструменты**. 2000. Т. 5 № 2. С. 56—60.
3. Вегера А. И. Моделирование локальных мембранных систем очистки воды с префильтром: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. **Новополоцк**, 2000.
4. Малиновская Т. А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза. **М.**, Химия, 1971.
5. Коваленко В. П., Ильинский А. А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. **М.**: Химия, 1982.
6. Папок К. К., Рагозин Н. А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям. **М.**: Химия, 1975.
7. Elstad N. L. // **Fluid/Particle Separation Journal**. 1992. Vol. 5, N 1. P. 6—9.
8. ASTM D4189-82. Standard Test Method for Silt Density Index (SDI) of Water. 1982.
9. Sumnerford K., Quartermaine B. // **Water Conditioning and Purification**. 1998. Vol. 40, N 1. P. 84—87.
10. Кремен С. S., Таннер М. // **Desalination**. 1998. Vol. 119. P. 259-262.
11. Карелин Ф. Н. Обессоливание воды обратным осмосом. **М.**: Стройиздат, 1988.
12. Карелин Ф. Н., Ташенев К. М., Садыхов Н. Я. // **Химия и технология воды**. 1983. Т. 5, № 2. С. 147-151.
13. Pure water Handbook, Osmonics, Inc., Minnesota, USA, 1991.
14. Pure Water Handbook. - Osmonics: [http // www.osmonics.com/labrary/pwh.htm](http://www.osmonics.com/labrary/pwh.htm), 24.02.2000. P. 117—118.
15. ТУ 40 БССР 02-53-90. Полотно трикотажное техническое фильтровальное (ПТТФ). Вводятся впервые: Введ. 01.01.91. **Мн.**: **Белстандарт**, 1989. Группа М 41.
16. Ельшин А. И., Вегера А. И., Петрова В. А. // **Материалы, технологии, инструменты**. 1999. № 4. С. 31—36.