

Гидрохимия и качество воды
Гидрохимия және судың сапасы
Hydrochemistry and water quality

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-30-41.18>

МРНТИ 70.19.20
УДК 628.1

Н. Х. Гусейнова

Старший советник (Государственное агентство водных ресурсов Азербайджана,
«Научно-исследовательский институт воды и мелиорации», юридическое лицо публичного права,
Баку, Азербайджан; narminhuseynova92@gmail.com)

**ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ
НА ДЖЕЙРАНБАТАНСКИХ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ
УСТАНОВКАХ ПУТЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ СТАДИИ
ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКИ РАСТВОРОМ СУЛЬФАТА МЕДИ**

Аннотация. Рассматривается возможность влияния обратной промывки растворами сульфата меди на водоподготовку методом ультрафильтрации во время бурного цветения в поверхностных источниках водоснабжения. Экспериментально доказано, что эффективно использовать во время обратных промывок растворы сульфата меди в концентрациях 2 мг/л для фильтров предварительного осветления и 1 мг/л для ультрафильтрационных мембран на основе поливинилденфторида. Ни в одной из отобранных после осветления проб воды не было зафиксировано наличия меди в концентрациях, превышающих фоновое, что на порядок ниже ПДК для питьевой воды. Проведенные эксперименты не выявили негативного влияния раствора сульфата меди на целостность ультрафильтрационных мембран на основе поливинилденфторида в среднесрочной перспективе. Для изучения влияния сульфата меди в долгосрочной перспективе экспериментальные работы продолжаются.

Ключевые слова: водоподготовка, микрофильтрация на дисковых фильтрах, ультрафильтрация, обратная промывка, общее микробное число, биообрастание, диатомовые водоросли, биогенные элементы.

Введение. С апреля по июль в Джейранбатанском водохранилище наблюдается увеличение концентрации биогенных элементов (углерода, азота и фосфора), которое сопровождается бурным ростом диатомовых водорослей и общего микробиологического фона. Эти обстоятельства способствуют возникновению и росту биообрастания на узлах ультрафильтрационных установок (на поверхности 200 микронных фильтров предварительной стадии осветления и мембран ультрафильтрации из поливинилденфторида). Интенсивный рост биомассы за короткое время приводит к практически полной остановке процесса водоподготовки и увеличению числа обратных промывок. Рост обратных промывок, которые осуществляются растворами соляной кислоты, щелочи и гипохлорита натрия, негативно сказывается на себестоимости осветлённой воды и приводит к уменьшению рентабельности всего процесса водоподготовки. Наряду с этим вынужденное увеличение числа обратных промывок способствует ускорению деструкции как самих мембран ультрафильтрации, так и отдельных узлов всей системы водоподготовки. Сегодня в процессах водоподготовки широко применяются мембранные технологии. Преимущество мембранных технологий заключается в их компактности, а также в обеспечении более качественной очистки воды.



Рисунок 1 – Способность различных типов мембран очистить исходную воду от различных примесей

Figure 1 – The ability of different types of membranes to purify source water from various impurities

В системах водоподготовки используются мембраны различной селективности, которые отождествляются размерами пор 0,02-0,05 мк [1]. Так, по селективности мембраны, используемые для водоподготовки, условно можно разделить на четыре группы (рисунок 1):

1. Обратноосмотические мембраны – способствуют удалению из исходной воды практически всех растворенных и нерастворенных соединений.

2. Нанофильтрационные мембраны – способствуют удалению из исходной воды растворенных химических соединений, кроме моноионов.

3. Ультрафильтрационные мембраны – способствуют удалению из воды 99,999 % микроорганизмов и вирусов, а также макроскопических минеральных соединений, находящихся в воде в растворенном или дисперсном состоянии. Обычно для водоподготовки в больших объемах применяются ультрафильтрационные мембраны с размером пор около 0,02 мк.

4. Микрофильтрационные мембраны, в отличие от ультрафильтрационных мембран, практически не способны очистить исходную воду от вирусов и таким образом не обеспечивают эффективный вирусный барьер.

Немаловажным фактором является и то, что традиционный метод обеззараживания воды хлорсодержащими реагентами не способствует инактивации большинства вирусов, встречающихся в поверхностных источниках водоснабжения.

Механизм очищения воды методом ультрафильтрации отличается от принципов работы обычных, так называемых классических методов водоочистки, в которых фильтрационную функцию выполняют засыпные фильтры на основе кварцевого песка или антрацита с диаметром зерен 0,8-2 мм [2]. Указанные засыпные фильтры имеют существенно больший номинальный размер пор (приблизительно 20 мк) [2] и их работа основана на механизме гравитационного фильтрования.

Существенное отличие процесса ультрафильтрации от фильтрования через насыпные фильтры заключается в том, что при ультрафильтрации реализуется механизм отделения загрязнений на поверхности мембраны, что подобно тонкому просеиванию на сите с порами практически одинакового размера. Таким образом, любая частица, размер которой превышает размер пор, просто отсекается. Это обстоятельство делает ультрафильтрацию чрезвычайно привлекательной технологией. И главное преимущество в том, что качество обработанной воды удовлетворяет стандартам питьевой воды [3] и не зависит от качества исходной воды при условии сохранения целостности мембраны.

Кроме высокой эффективности очистки и ее абсолютного характера для частиц, превышающих размер пор мембраны, преимущество ультрафильтрационного оборудования в его компактности, а также возможности полной автоматизации всего процесса водоподготовки.

Ультрафильтрационные [4] мембраны могут быть в виде плоских листов, так и полых волокон. Мембраны первого типа используются, например, для обработки сильнозагрязненных

сточных вод, мембраны с полыми волокнами – для водоподготовки. Рассмотрим некоторые типы ультрафильтрационных мембран.

1. Одноканальные ультрафильтрационные мембраны. В большинстве случаев для ультрафильтрации применяются одноканальные волокна с внутренним диаметром 0,8 мм или меньше, для исходной воды с высоким содержанием взвешенных твердых веществ применяются волокна с большим внутренним диаметром – до 1,5 мм [5]. При выборе размера диаметра пор мембран учитывается компромисс между требующейся высокой плотностью упаковки, простотой обратной промывки, минимизирования загрязнения, уменьшения эксплуатационных затрат, высокой пропускной способностью, а также механической прочностью, что обеспечивает целостность самой мембраны. Из перечисленных факторов механическая целостность мембраны является ключевым фактором. Одноканальные волокна особенно хрупки к нагрузкам, которым они подвергаются во время частых циклов обратных промывок.

2. Многоканальные ультрафильтрационные мембраны. В отличие от одноканальных для многоканальных волокон возможность их повреждения более низкая, так как каждое волокно состоит из нескольких капилляров, что существенно увеличивает механическую прочность и гарантирует целостность мембраны.

Рассмотрим общие положения технологии процесса ультрафильтрации в классическом исполнении, которая применена и в джейранбатанских ультрафильтрационных установках (рисунок 2) [6].

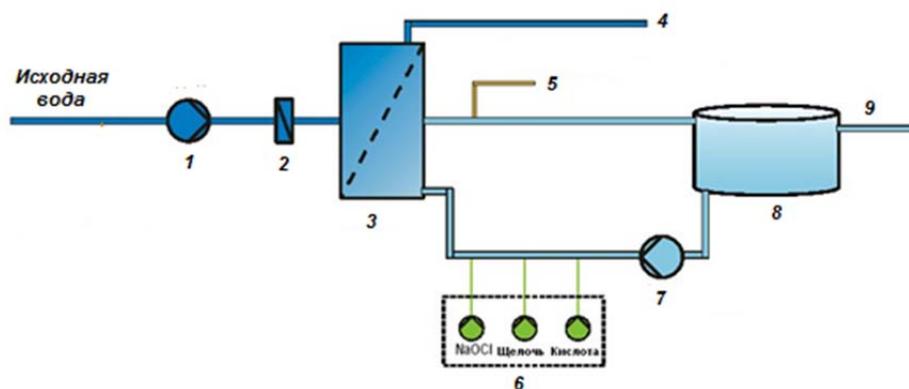


Рисунок 2 – Диаграмма потоков процесса ультрафильтрации:

- 1 – насос исходной воды; 2 – фильтр предварительного осветления; 3 – ультрафильтрационная мембрана;
- 4 – дренаж; 5 – подача воздуха под давлением; 6 – комплекс обратной промывки;
- 7 – насос обратной промывки; 8 – емкость фильтрата для обратной промывки; 9 – фильтрат

Figure 2 – Ultrafiltration process flow diagram:

- 1 – feed water pump; 2 – pre-clarification filter; 3 – ultrafiltration membrane; 4 – drainage; 5 – pressurized air supply;
- 6 – backwash complex; 7 – backwash pump; 8 – backwash filtrate tank; 9 – filtrate

Как видно из рисунка 2, главными узлами ультрафильтрационной установки являются насос подачи исходной воды на фильтры предварительного осветления (этот узел не считается обязательным и его наличие напрямую связано с мутностью исходной воды), стойки с модулями ультрафильтрации и емкости фильтрата/обратной промывки. В зависимости от качества исходной воды могут использоваться устройства дозирования химикатов.

На джейранбатанских ультрафильтрационных установках при обратной промывке используются реагенты: гипохлорит натрия (NaOCl 200 мг/л) для дезинфекции, щелочь (NaOH pH 12-13) и кислота (обычно HCl pH 1). Все реагенты соответствуют классу «химически чистые» [6]. В настоящее время в фильтрах предварительного осветления не предусмотрена обратная промывка химическими реагентами.

Для создания в системе необходимого давления исходная вода подается при помощи насоса ($Q - 4 \text{ m}^3/\text{hour}$ $H - 2 \text{ m}$) [6]. Перед модулем ультрафильтрации вода пропускается через так называемые фильтры предварительного осветления с размерами пор 200 мкм, которые отфильтро-

вывают грубые частицы, предохраняя тем самым ультрафильтрационные мембраны от механических повреждений, и предотвращают чрезмерное загрязнение поверхности мембран.

После предварительного осветления вода под давлением 1,5-2 бар подается непосредственно на поверхность ультрафильтрационных мембран, а очищенная вода отводится по внутреннему каналу. Поток воды проходит через ультрафильтрационные мембраны и поступает в емкость фильтрата/обратной промывки. Периодичность обратной промывки для мембран напрямую зависит от качества воды, поступающей на поверхность мембран, и происходит в автоматическом режиме в зависимости от изменения давления.

В зависимости от характера и количества загрязнения обратная промывка происходит как с добавлением химических реагентов, так и без них. Обратная промывка с добавлением химических реагентов проводится в тех случаях, когда загрязнение поверхности фильтров имеет характер биообрастания и обычная обратная промывка не способствует падению давления перед фильтрами.

Как видно из рисунка 1, в настоящее время для обратной промывки используются три реагента (гипохлорит натрия, соляная кислота и гидроксид натрия). Здесь гипохлорит натрия применяется для дезинфекции. Главная роль щелочи – борьба с биообрастанием, а роль кислоты – растворение неорганических карбонатных соединений.

Как отмечалось, во время бурного цветения диатомовых водорослей обратная промывка с использованием указанных реагентов не всегда бывает эффективной. На основе проведенных нами экспериментов было выявлено, что главным составляющим биопленок, образующихся на поверхности ультрафильтрационных мембран, являются диатомовые водоросли, покрытые силикатным панцирем, устойчивым к большинству химикатов на короткое время воздействия [7].

С учетом этого нами было предложено включить в стадию обратной промывки раствор сульфата меди в концентрациях 1, 2 и 3 мг/л, который за короткое время воздействия способен деактивировать главную составляющую биопленок – диатомовые водоросли.

Биомеханизм инактивации сульфатом меди заключается в том, что медь в составе данного соединения легко связывается с белками в первую очередь грибов и диатомовых водорослей, которые относительно высокорезистентны [8] к соединениям, применяемым при обратной промывке в системах ультрафильтрации воды.

Материалы и методы исследования. Чтобы выяснить характер влияния сульфата меди на процессы в системе ультрафильтрации, были проведены эксперименты на пилотной установке, собранной по схеме, показанной на рисунке 3.

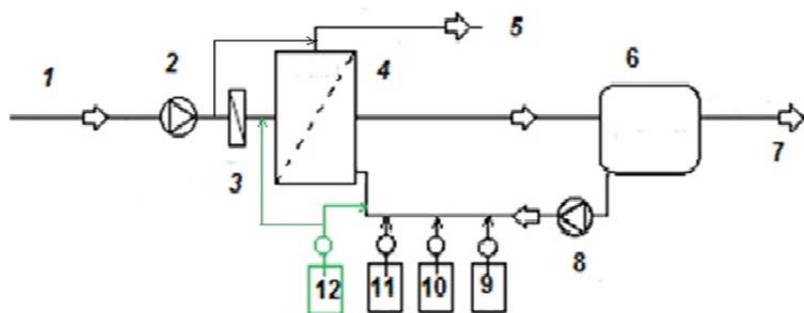


Рисунок 3 – Схема пилотной ультрафильтрационной установки:

- 1 – исходная вода; 2 – насос исходной воды; 3 – фильтр предварительного осветления 200 мкм;
4 – ультрафильтрационная мембрана на основе поливинилденфторида; 5 – дренаж; 6 – емкость для фильтрата;
7 – очищенная вода; 8 – насос обратной промывки; 9 – емкость для HCl;
10 – емкость для NaOH; 11 – емкость для NaOCl; 12 – емкость для CuSO₄

Figure 3 – Scheme of a pilot ultrafiltration unit:

- 1 – feed water; 2 – feed water pump; 3 – pre-clarification filter 200 μm;
4 – ultrafiltration membrane based on polyvinylidene fluoride; 5 – drainage; 6 – filtrate tank; 7 – purified water;
8 – backwash pump; 9 – HCl tank; 10 – NaOH tank; 11 – NaOCl tank; 12 – CuSO₄ tank

Параметры качества исходной воды из Джейранбатанского водохранилища даны в таблице 1. Исходная вода под давлением 2 бар с помощью насоса была подана на 200-микронный дисковый фильтр для предварительного осветления.

Таблица 1 – Параметры качества исходной воды, поступающей на фильтр предварительного осветления и после фильтрации на 200-микронных дисковых фильтрах предварительного осветления

Table 1 – Parameters of the quality of the source water entering the pre-clarification filter and after pre-clarification filters

№	Параметр	Единица измерения	Параметры до предварительного осветления	Параметры после предварительного осветления
1	Температура	°C	22	22
2	Мутность	NTU	7,7	6,8
3	Взвешенные вещества	mg/l	4,2	3,8
4	Активная реакция воды рН	–	8,55	8,55
5	Сухой остаток при 105 °C	mg/l	248	241
6	Зольность при 600 °C	mg/l	1,7	1,4
7	Общие колиформные бактерии	CFU/100ml	189	176
8	E.coli	CFU/100ml	0	0
9	Enterococci	CFU/100ml	0	0
10	ОМЧ 22 °C	CFU/1ml	93	70
11	ОМЧ 37 °C	CFU/1ml	>300	>300
12	Клетки сине-зелёных водорослей	СЗВ кл/мл	1610	1412
13	Медь	mg/l	0	0

После первой стадии осветления на 200-микронных дисковых фильтрах (параметры качества которой даны в таблице 1) вода после потери напора в 0,2 бар под давлением в 1,8 бар поступила на новый модуль ультрафильтрационной мембраны на основе поливинилденфторида.

Из анализа таблицы 1 можно сделать вывод, что хоть и малозаметные, но все-таки изменения в показателях качества до и после предварительного осветления наблюдаются. Особо стоит отметить изменения, произошедшие в микробиологических показателях.

На рисунках 4-7 показаны диаграммы микробиологических данных по четырем показателям, отобранные через каждые 4 ч после предварительного осветления.

Как видно из диаграммы, в начале процесса фильтрования с течением времени количество микроорганизмов при 22 °C задерживается на поверхности 200-микронных фильтров предварительного осветления. Но после определенной точки (на рисунке 4 это точка соответствует 20 ч непрерывной работы фильтра) задерживание микроорганизмов существенно уменьшается.

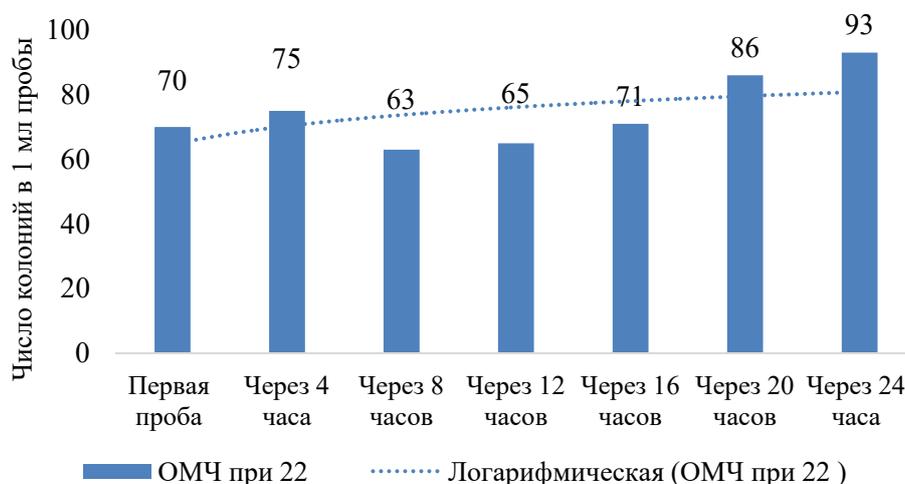


Рисунок 4 – Общее микробное число при 22 °C через каждые 4 ч после предварительного осветления

Figure 4 – Total microbial count at 22 °C every 4 hours after pre-clarification

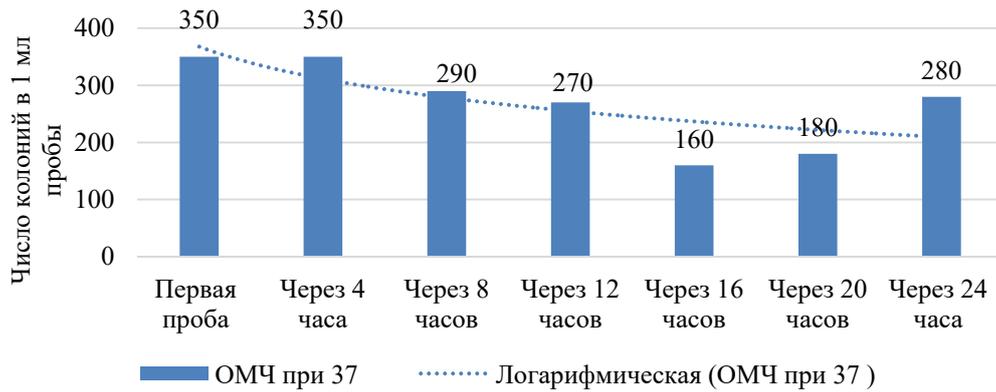


Рисунок 5 – Общее микробное число при 37 °С через каждые 4 ч после предварительного осветления

Figure 5 – Total microbial count at 37 °C every 4 hours after pre-clarification

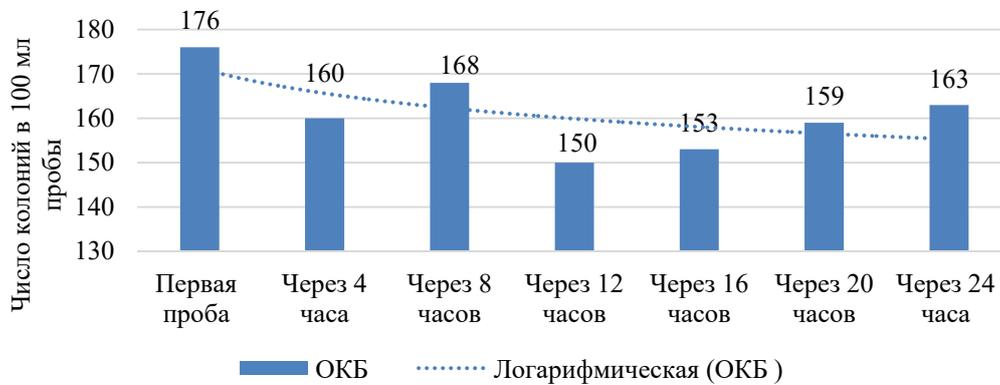


Рисунок 6 – Общее число колиформных бактерий через каждые 4 ч после предварительного осветления

Figure 6 – Total coliform counts every 4 hours after pre-clarification

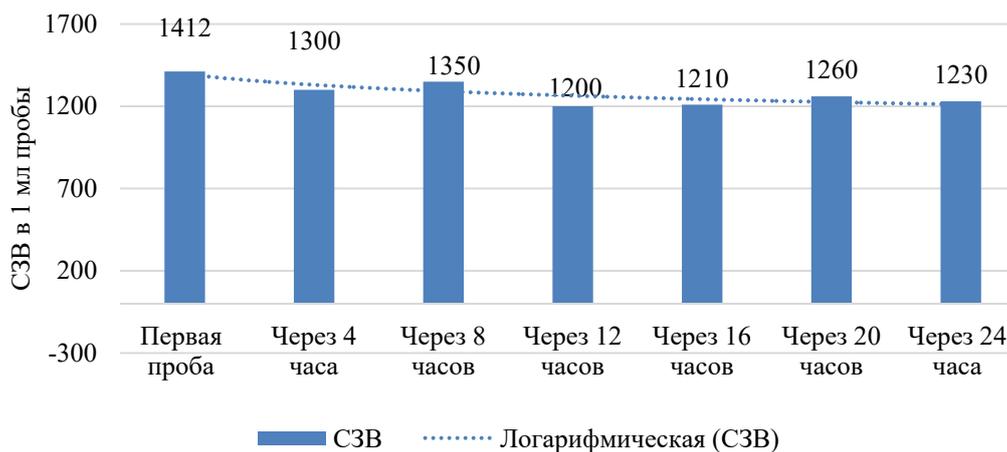


Рисунок 7 – Число клеток сине-зелёных водорослей через каждые 4 ч после предварительного осветления

Figure 7 – Number of blue-green algae cells every 4 hours after pre-clarification

Аналогичная картина наблюдается и для остальных микробиологических показателей (см. рисунки 5-7). Данные диаграмм (см. рисунки 4-7) интересны еще и тем, что размеры микроорганизмов намного меньше 200 мкм (самые большие из них это диатомовые водоросли имеют размеры 50-100 мкм), но они в определенном количестве задерживаются ими. Следующим интересным наблюдением было то, что задержка микроорганизмов фильтрами предварительного

осветления происходила не сразу, а количество задерживаемых клеток увеличивалось с течением времени, что тоже наглядно видно на диаграммах.

Все сказанное можно объяснить лишь процессом создания биопленки, для образования которой требуется определенное время, равное 4-48 ч [9] в зависимости от типа микроорганизмов и температуры воды. Как известно, формирование биопленки состоит из четырех стадий.

Первая стадия возникновения биопленки называется стадией адгезии или так называемая стадия первичного прикрепления на поверхность, в нашем случае на поверхность фильтрующих элементов. Главная особенность этой стадии в том, что микроорганизмы пока что не имеют жесткой связи и легко переходят в планктонную форму. На рисунках 4-7 эта стадия соответствует первым восьми часам работы фильтра.

На рисунке 8 показана проба под микроскопом, полученная с поверхности фильтра после 8 ч работы.

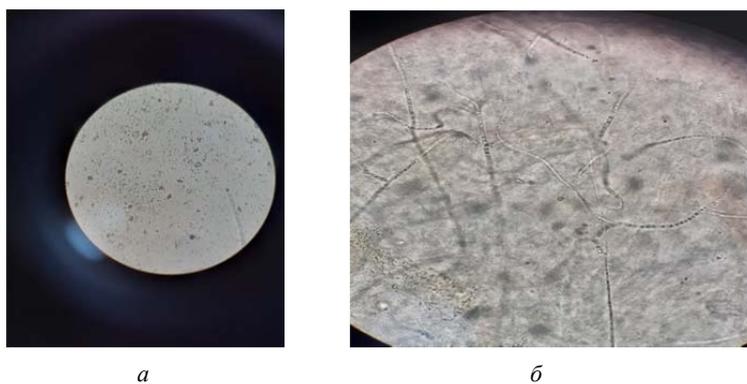


Рисунок 8 – Проба под микроскопом, полученная с поверхности фильтра:
 а – после 8 ч работы (увеличение 13х40); б – после 16 ч работы (увеличение 13х40)

Figure 8 – Microscopic sample obtained from the filter surface:
 a – after 8 hours of operation (magnification 13x40); b – after 16 hours of operation (magnification 13x40)

Вторая стадия – это стадия фиксации. В этой стадии микроорганизмы с помощью вырабатываемых ими же ферментов плотно прикрепляются к поверхности (на рисунке 8 эта стадия условно соответствует времени 8-16 ч работы фильтра), именно после этой стадии обратная промывка фильтров без химических реагентов не приводит к желаемому результату.

Третья стадия – это стадия созревания биопленки. Главная особенность этой стадии – образование колоний. В этой стадии создается полноценная биопленка. Микроорганизмы начинают размножаться внутри биопленки. К тому же новым клеткам микроорганизмов, которые поступают с исходной водой, намного легче слиться с уже созревшей биопленкой.

Этот процесс сопровождался ростом давления воды перед фильтром, что напрямую указывает на увеличение загрязнения фильтра (рисунок 9).

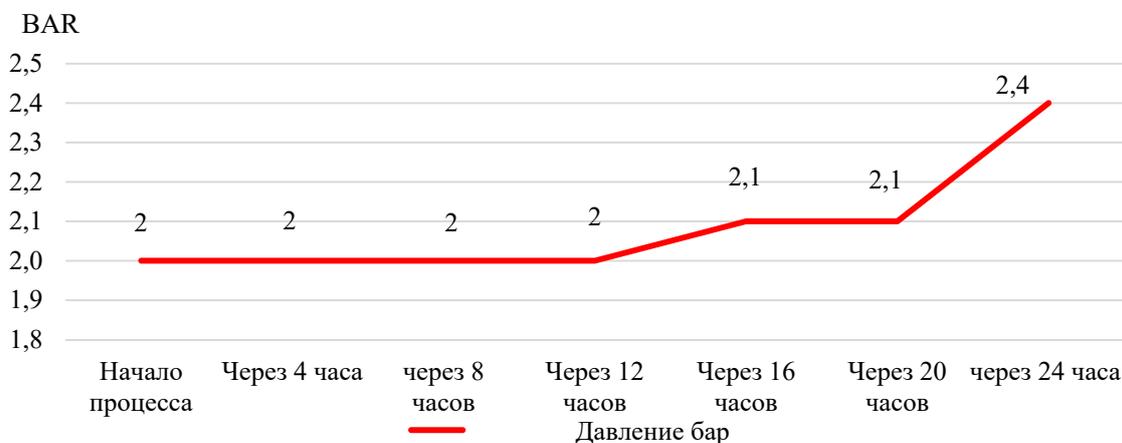


Рисунок 9 – Давление воды перед фильтром предварительного осветления

Figure 9 – Water pressure in front of the pre-clarification filter

При детальном рассмотрении графика на рисунке 9 можно заметить, что увеличение давления перед фильтром предварительного осветления имеет скачкообразный характер. Если учесть, что процесс фильтрации протекал непрерывно, то в идеале кривая изменения давления должна быть пологой. После повторных замеров и изучения характера загрязнения под микроскопом было замечено явное образование биообрастания на поверхности фильтра, основным компонентом которого являются диатомовые водоросли. В нескольких случаях повторения эксперимента биообрастание не удалялось процессом обратной промывки и приходилось разбирать фильтры и удалять накопившееся загрязнение механически. Увеличение числа обратных промывок и рост времени промывки не принесли существенных положительных результатов.

Четвертая стадия – это стадия депрессии. В этой стадии из-за нехватки питательных веществ некоторые клетки отделяются от общей массы биопленки и переходят в планктонную форму, что приводит к увеличению числа микроорганизмов в предварительно осветленной воде. Это мы наглядно видим на рисунке 9 после 16 ч непрерывной работы фильтров.

С учетом перечисленных фактов нами было предложено на стадии обратной промывки применить раствор сульфата меди в концентрациях 1, 2 и 3 мг/л в течение 5 мин, что привело к положительным результатам (рисунок 10). Максимальный эффект был достигнут при концентрации раствора сульфата меди 2 мг/л, и дальнейшее увеличение концентрации не приводило его к существенному росту.

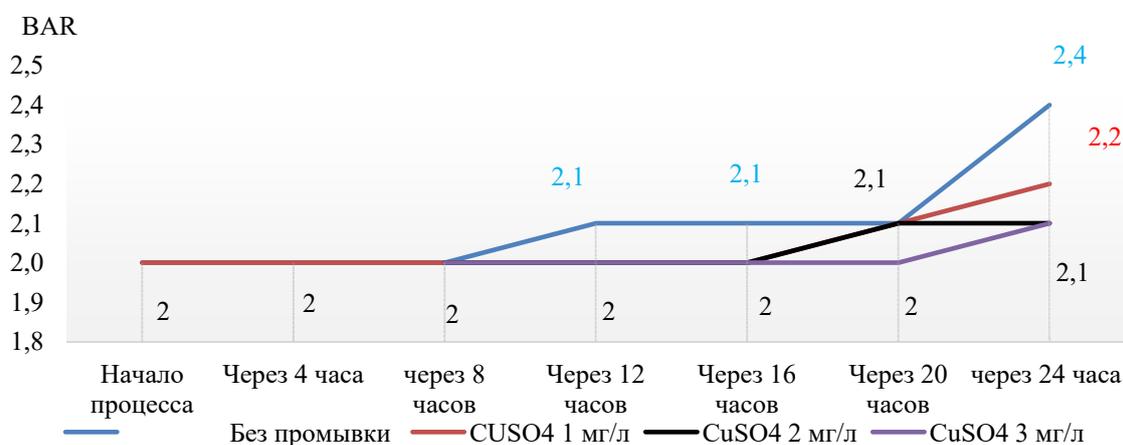


Рисунок 10 – Давление воды перед фильтром предварительного осветления с применением стадии обратной промывки растворами сульфата меди в концентрациях 1, 2 и 3 мг/л в течение 5 мин

Figure 10 – Water pressure before the pre-clarification filter using a backwash stage with copper sulfate solutions at concentrations of 1, 2 and 3 mg/l for 5 minutes

Таблица 2 – Качество воды после фильтрации через новую ультрафильтрационную мембрану

Table 2 – Water quality after filtration through a new ultrafiltration membrane

№	Параметры	Единица измерения	Параметры после ультрафильтрации
1	Температура	°C	22
2	Мутность	NTU	0,23
3	Взвешенные вещества	mg/l	≥ 0,1
4	Активная реакция воды pH	–	8,55
5	Сухой остаток при 105 °C	mg/l	235
6	Зольность при 600 °C	mg/l	0
7	Общие колиформные бактерии	CFU/100ml	0
8	E.coli	CFU/100ml	0
9	Enterococci	CFU/100ml	0
10	ОМЧ 22 °C	CFU/1ml	0
11	ОМЧ 37 °C	CFU/1ml	0
12	Клетки сине-зелёных водорослей	СЗВ кл/мл	0
13	Медь	mg /l	0

После предварительного осветления вода была подвергнута ультрафильтрационной очистке на поливинилденфторидовых мембранах.

После фильтрации через (новую) ультрафильтрационную мембрану была получена вода, параметры качества которой даны в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, вода была получена практически идеального качества. Главная проблема заключалась в чрезмерном загрязнении поверхности мембраны в довольно короткое время, что приводило к повышению давления (рисунок 11) перед фильтром и уменьшению скорости фильтрации. Как и в фильтрах предварительного осветления воды, довольно частые и растянутые во времени процессы обратной промывки не приводили к желаемому результату, несмотря на применение химических реагентов.

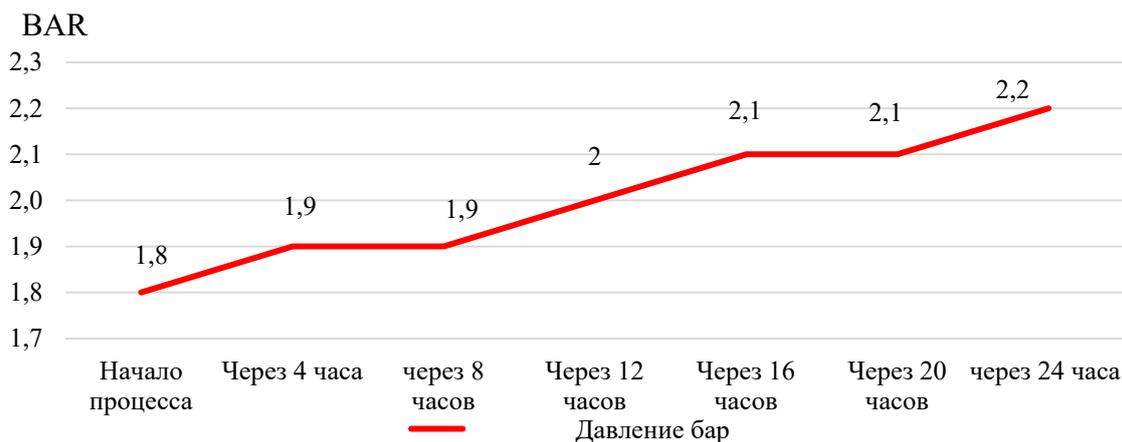


Рисунок 11 – Изменение давления воды перед модулем ультрафильтрационной мембраны в течение суток

Figure 11 – Change in water pressure in front of the ultrafiltration membrane module during the day

При детальном рассмотрении графика на рисунке 11 можно заметить, что увеличение давления перед фильтром ультрафильтрационной мембраны так же, как и перед фильтром предварительного осветления, имеет скачкообразный характер.

Различие наблюдалось лишь во времени. В данном случае скачок отмечался уже на 4-8 ч непрерывной фильтрации. Если учесть, что процесс фильтрации протекал непрерывно, то в идеале кривая изменения давления должна была быть пологой, чего на реальной картине не видно.

Как и для фильтров предварительного осветления на стадии обратной промывки, был применен раствор сульфата меди в концентрациях 1 и 2 мг/л в течение 5 мин. И это привело к положительным результатам, которые наглядно можем видеть на рисунке 12.

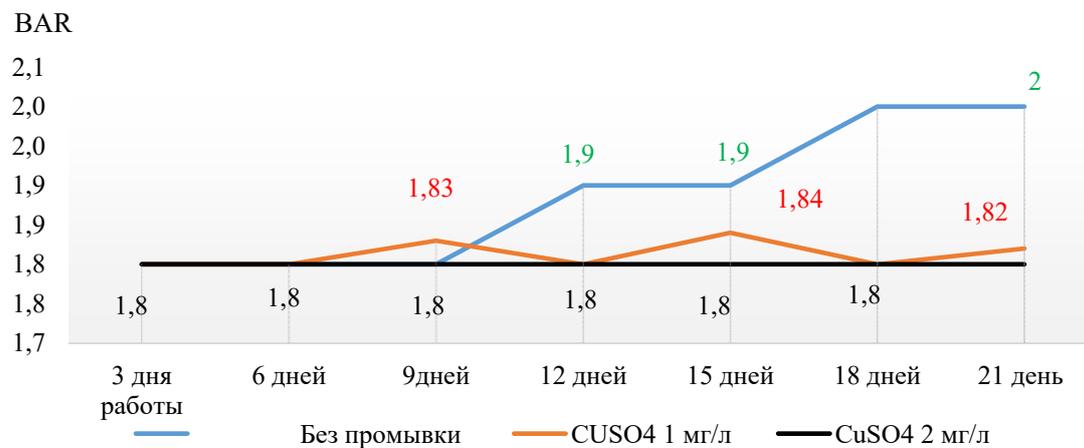


Рисунок 12 – Давление воды перед фильтром предварительного осветления с применением стадии обратной промывки растворами сульфата меди в концентрациях 1 и 2 мг/л

Figure 12 – Water pressure before the pre-clarification filter using a backwash stage with copper sulfate solutions at concentrations of 1 and 2 mg/l

Максимальный эффект был достигнут уже при концентрациях сульфата меди 1 мг/л, и дальнейшее увеличение концентрации сульфата меди не приводило к существенному изменению результатов. Хотя первые обратные промывки без применения раствора сульфата меди и приводили к положительным результатам, но при длительной эксплуатации эффективность обратных промывок снижалась (рисунок 13).

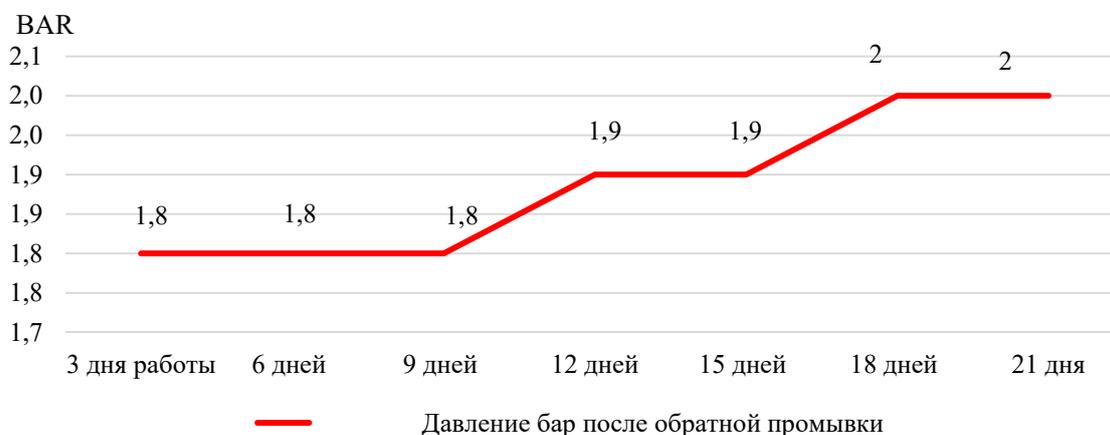


Рисунок 13 – Давление воды перед модулем ультрафильтрационной мембраны после обратных промывок без раствора сульфата меди

Figure 13 – Water pressure in front of the ultrafiltration membrane module after backwashing without copper sulfate solution

Как видно из графика на рисунке 13, эффективность обратных промывок снижалась в среднем после 12 дней непрерывной эксплуатации, что отражается на графике повышением давления.

После повторных измерений и изучения характера загрязнения под микроскопом было обнаружено биообрастание на поверхности фильтра, состоящее в основном из диатомовых водорослей, что подтвердило аналогию с биообрастанием на фильтрах предварительного осветления.

Лабораторные эксперименты над культурами, полученных из биопленок, также показали увеличение в определенной степени резистентности этих культур к раствору гидроксида натрия.

Заключение. Как было указано, в весенние и летние месяцы на узлах джейранбатанской ультрафильтрационной установки наблюдается бурное биообрастание. Анализируя предыдущие эксперименты, мы пришли к выводу, что главной составляющей наблюдаемых негативных процессов является именно изменчивый микробиологический состав воды в весенние месяцы. Причины этого негативного явления рассмотрены в статье «Влияние степени сезонных колебаний самоочищения воды Джейранбатанского водохранилища на процесс водоподготовки методом ультрафильтрации» [10].

Обратная промывка узлов ультрафильтрационных установок как с реагентами (щелочь, кислота и хлорсодержащие реагенты типа гипохлоритов), так и без них не приводит к предотвращению образования и постепенного накопления биообрастания на поверхности фильтров, как предварительного осветления, так и на поверхности ультрафильтрационных мембран. Этому способствовало увеличению резистентности микроорганизмов как к щелочи, так и к хлорсодержащим реагентам в составе биопленок. Поэтому нами была экспериментально доказана эффективность использования во время обратных промывок растворов сульфата меди в концентрациях 2 мг/л для фильтров предварительного осветления и 1 мг/л для ультрафильтрационных мембран на основе поливинилденфторида.

Ни в одной из отобранных после осветления проб воды не было зафиксировано наличия меди в концентрациях, превышающих фоновое, что на порядок ниже ПДК для питьевой воды.

Проведенные эксперименты не выявили негативного влияния раствора сульфата меди на целостность ультрафильтрационных мембран на основе поливинилденфторида в среднесрочной перспективе. Для изучения влияния сульфата меди в долгосрочной перспективе экспериментальные работы продолжаются.

Для предотвращения попадания солей меди в окружающую среду в составе промывочной воды рекомендуется ее извлечение с применением хелатообразующих сорбентов или же процесса электрокоагуляции [11].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Водоподготовка. Справочник для профессионалов / Под ред. д.т.н. С. Е. Беликова. – 2007. – 240 с.
- [2] СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Москва, 1984. – 131 с.
- [3] AZS 929:2023 “İçməli su. Gigeniyenik tələblər və keyfiyyət üzrə nəzarət. AZSTAND/TK-33, 28 səh.
- [4] Экологические мембранные технологии в водоочистке и в водоподготовке: Учебное пособие / И. В. Хорохори-на, А. В. Козачек, А.О. Сухова, О. С. Филимонова, О. В. Долгова, С. И. Лазарев. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» 2023. – 145 стр.
- [5] Никифоров А. Ф., Курегин А. С., Липунов И. Н., Перкова И. Г., Семенищев В. С. Физико-химические основы процессов очистки воды: Учебное пособие. – Екатеринбург, 2016. – 164 с.
- [6] Эксплуатация джейранбатанской ультрафильтрационной системы водоподготовки. Технологический регламент / НИПИ “Суканал” / Отв. исполн. Н. Х. Гусейнова. – Баку, 2023. – 139 с.
- [7] Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: Материалы XVII Международной научной конференции. – Минск: Колорград, 2021. – 262 с.
- [8] French M.S., Evans L.V. The effects of copper and zinc in growth diatoms amphora and amphiprora // The journal of Bioadhesion and Biofilm Research. – 2009. – P. 3-18.
- [9] Промышленное водоснабжение: Учебное пособие / Аксенов В. И., Галкин Ю. А., Заслоновский В. Н., Ничкова И. И. – Екатеринбург, 2010. – 221 с.
- [10] Гусейнова Н. Х. Влияние степени сезонных колебаний самоочищения воды Джейранбатанского водохранилища на процесс водоподготовки методом ультрафильтрации // География и водные ресурсы. – 2021. – №1. – С. 44-53. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-44-53.38>
- [11] Treatment of industrial wastewater and household waste using electrocoagulation method with aluminium electrode // Suyanto, Sunatro, Susila Kristianingram, Regina Tutik Padmaningrum, Derifasay Salsabilla and Karlinda / Indonesian journal of Chemistry and Environment. – 2022. – Vol. 5, No. 2. – P. 37-43.

REFERENCES

- [1] Water treatment. Handbook for professionals / Ed. by Doctor of Technical Sciences S. E. Belikov. 2007. 240 p. (in Russ.).
- [2] SNIP 2.04.02-84 Water supply. External networks and structures. Moscow, 1984. 131 p. (in Russ.).
- [3] AZS 929:2023 “Drinking water. Hygienic requirements and quality control. AZSTAND/TK-33, 28 p. (in Azerb.)
- [4] Ecological membrane technologies in water purification and water treatment: Study guide / I. V. Khorokhorina, A. V. Kozachek, A. O. Sukhova, O. S. Filimonova, O. V. Dolgova, S. I. Lazarev. Tambov: Publishing Center of FSBEI HE “TSTU”, 2023. 145 p. Separation and purification (in Russ.).
- [5] Nikiforov A.F., Kuregin A.S., Lipunov I.N., Perkova I.G., Semenishchev V. S. Physical and chemical foundations of water purification processes. Textbook. Ekaterinburg, 2016. 164 p. (in Russ.).
- [6] Operation of Jeyranbatan Ultrafiltration Water Treatment System: Technological regulations / NIPI “Sukanal” / Responsible for execution. N. H. Huseynova. Baku, 2022. 139 p. (in Russ.).
- [7] Diatoms: morphology, biology, systematics, floristry, ecology, paleogeography, biostratigraphy. Proceedings of the XVII international scientific conference. Minsk: Colorgrad, 2021. 262 p. (in Russ.).
- [8] French M.S., Evans L.V. The effects of copper and zinc in growth diatoms amphora and amphiprora // The journal of Bioadhesion and Biofilm Research. 2009. P. 3-18.
- [9] Industrial water supply. Study guide / V. I. Aksyonov, Yu. A. Galkin, V. N. Zaslonsky, I. I. Nichkova. Ekaterinburg: UrFU, 2010. 221 p. (in Russ.).
- [10] Huseynova N. H. Influence of the degree of seasonal fluctuations of self-purification of water of Jeyranbatan reservoir on the process of water treatment by ultrafiltration method // Geography and Water Resources. 2024. No. 4. P. 44-53. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-44-53.38> (in Russ.).
- [11] Treatment of industrial wastewater and household waste using electrocoagulation method with aluminum electrode / Suyanto, Sunatro, Susila Kristianingram, Regina Tutik Padmaningrum, Derifasay Salsabilla and Karlinda // Indonesian journal of Chemistry and Environment. 2022. Vol. 5, No. 2. P. 37-43.

Н. Х. Гусейнова

Аға кеңесші (Әзербайжанның су ресурстары мемлекеттік агенттігі,
«Су және мелиорация ғылыми-зерттеу институты» Заңды тұлға Қоғамдық құқық,
Баку, Әзірбайжан; narminhuseynova92@gmail.com)

**ЖЕЙРАНБАТАН УЛЬТРАСҮЗГІЛІ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫНДАҒЫ
СУДЫ ДАЙЫНДАУДЫ МЫС СУЛЬФАТЫ ЕРІТІНДІСІМЕН
КЕРІ ЖУУ КЕЗЕҢІН ЕНГІЗУ АРҚЫЛЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ**

Аннотация. Мақалада мыс сульфаты ерітінділерімен кері шаю процесін енгізудің жер үсті су көздерінде жылдам гүлдену кезінде ультрасүзгілеу әдісімен суды тазарту процесіне әсер ету мүмкіндігі қарастырылады. Кері жуу кезінде мыс сульфатының ерітінділерін алдын ала тазарту сүзгілері үшін 2 мг/л және поливинилиденді фторид негізіндегі ультрафилтрациялық мембраналар үшін 1 мг/л концентрацияда қолдану тиімді екені тәжірибе жүзінде дәлелденді. Нақтылаудан кейін алынған су сынақтарының ешқайсысында мыс концентрациясының фондық деңгейден асатыны байқалмады, бұл ауыз суға арналған ШПК шамасынан төмен. Тәжірибелер мыс сульфаты ерітіндісінің орта мерзімді перспективада поливинилиденді фторид негізіндегі ультрафилтрациялық мембраналардың тұтастығына теріс әсерін анықтаған жоқ. Мыс сульфатының ұзақ мерзімді перспективада әсерін зерттеу бойынша тәжірибелік жұмыстар жалғасуда.

Түйінді сөздер: суды тазарту, дискілі сүзгілерде микрофилтрация, ультрасүзгілеу, кері жуу, жалпы микроб саны, биологиялық ластану, диатомдар, биогенді элементтер.

N. H. Huseynova

Senior Advisor (State Water Resources Agency of Azerbaijan,
“Scientific-Research Institute of Water and Land Reclamation” Legal Entity of Public Law,
Baku, Azerbaijan; narminhuseynova92@gmail.com)

**OPTIMIZATION OF THE WATER TREATMENT PROCESS
AT JEYRANBATAN ULTRAFILTRATION PLANTS BY INCLUDING
A BACKWASH STAGE WITH COPPER SULFATE SOLUTION**

Abstract. This article explores the potential impact of introducing a backwash stage using copper sulfate solution into the ultrafiltration water treatment process during episodes of rapid algal blooming in surface water sources. Experimental results demonstrate the effectiveness of applying copper sulfate at a concentration of 2 mg/L for pre-cleaning disc filters and 1 mg/L for backwashing polyvinylidene fluoride ultrafiltration membranes. None of the water samples taken after clarification showed copper concentrations exceeding background levels, which remained well below the maximum permissible concentration (MPC) for drinking water. The experiments also found no negative impact on the structural integrity of polyvinylidene fluoride membranes in the medium term. Long-term studies are ongoing to assess potential cumulative effects.

Keywords: water treatment, microfiltration on disc filters, ultrafiltration, backwash, total microbial count, biofouling, diatoms, biogenic elements.