

УДК 631.674.6:628.16

**Виды загрязнения, способы и средства очистки воды в системах
капельного орошения сельскохозяйственных растений**

Юлия Ярославовна Сарахатунова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

Аннотация. Цель исследования – установить виды и типы загрязнителей, негативно влияющие на капельные системы, рассмотреть способы и средства очистки воды в системах капельного орошения сельскохозяйственных растений. В исследованиях рассмотрены три основных вида загрязнителя: биологический, химический и механический. В зависимости от количества и концентрации содержащихся в источнике водозабора загрязнителей подбирают способы и средства очистки в системах капельного орошения, проектируют очистные сооружения. В диссертационном исследовании, частью которого является данная статья, основная задача состоит в оптимизации водозаборно-очистного сооружения для систем капельного орошения сельскохозяйственных культур, вследствие этого в работе уделено особое внимание фильтрационным материалам, а именно мембранам. Понимание видов и типов загрязнителей поливной воды для использования в системах капельного орошения даст возможность подобрать конструкцию и наполнитель фильтрующих кассет водозаборно-очистного сооружения, отвечающих основным требованиям капельных систем, установить скоростной режим и коэффициент фильтрации, время и расход в лабораторных условиях на моделях фильтрующих кассет. Известно, что фильтрующая кассета должна в нормальном режиме обеспечивать суммарную производительность системы капельного орошения, в связи с этим необходимо установить состав и возможные фракции загрязнителей в источнике орошения.

Ключевые слова: виды загрязнений, биологический загрязнитель, химический загрязнитель, механический загрязнитель, средства очистки, мембранный фильтр

**Types of pollution, methods and means of water purification
in drip irrigation systems of agricultural plants**

Yulia Ya. Sarakhatonova

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

Abstract. The purpose of the study is to establish the kinds and types of pollutants negatively affecting drip systems, to consider methods and means of water purification in drip irrigation systems of agricultural plants. Three main types of pollutants have been examined in the studies: biological, chemical and mechanical. Depending on the amount and concentration of pollutants contained in the source of water intake, methods and means of purification in drip irrigation systems are selected and water treatment facilities are designed. In thesis research, of which this article is a part, the main task is to optimize the water intake treatment facilities for drip irrigation systems of agricultural crops, as a result, special attention is paid to filtration materials, namely membranes. Understanding the kinds and types of irrigation water pollutants for use by drip irrigation systems will make it possible to select the design and filler of filter cassettes of the water intake treatment facility that meet the basic requirements of drip systems, to set the speed mode and filtration coefficient, time and consumption in laboratory conditions on models of filter cassettes. It is known, that the filter cassette should normally provide the total performance of the drip irrigation system, in this regard, it is necessary to determine the composition and possible fractions of pollutants in the irrigation source.

Keywords: types of pollution, biological contaminant, chemical contaminant, mechanical contaminant, cleaning agents, membrane filter

Введение. К очистке воды прибегают в том случае, когда ее качество не соответствует требованиям, обеспечивающим нормальную работу всех звеньев системы капельного орошения. Капельное орошение предъявляет жесткие требования к содержанию взвешенных частиц в поливной воде. Так как скорости течения воды в поливных капельных линиях, особенно в концевых частях, могут достигать 0,01 м/с, то при наличии взвешенных частиц происходит их осаждение и залипание капельниц [1]. В соответствии с требованиями СП 31.13330.2012 [2], оптимальное содержание сухих (растворенных) веществ в отфильтрованной воде должно быть менее 500 мг/л, взвешенных примесей – менее 50 мг/л. Из существующих способов, наиболее распространенных в технологиях регулирования качества воды, можно выделить следующие: механические (фильтрование, гидроциклонирование [1], отстаивание, смешивание), химические (фертигация, коагуляция, сорбция), физические (вымораживание, выпаривание, гелиоопреснение), магнитоэлектрические (воздействие на воду и растворенные в ней вещества физическими полями), мембранные (обратный осмос, ультрафильтрация, электродиализ) [3]. Все они имеют как положительные, так и отрицательные моменты, могут применяться как самостоятельно, так и в комплексе. Если же рассматривать технологический процесс подготовки воды с позиции возможного управления ее качеством, то наибольший практический интерес в этом плане представляет мембранный способ, при реализации которого изменение компонентного состава воды осуществляется на молекулярном уровне, что позволяет удалить более 75 % всех известных примесей.

Выбор баромембранного метода водоподготовки для систем капельного орошения основывается на более качественной очистке воды из источника, чем при механической фильтрации. Из баромембранного метода водоподготовки наиболее применим для систем капельного орошения именно процесс микрофильтрации. Мембрана при микрофильтрации задерживает частицы размером 0,1–1,0 мкм, бактерии и дрожжи, т. е. осуществляет как механическую, так и биологическую очистку. Рабочее давление при микрофильтрации < 2 бар, морфология мембран – часто гомогенные (симметричные пористые мембраны), толщина рабочего слоя 10–150 мкм. Для водозаборно-очистного сооружения можно использовать кассетную систему мембран наподобие системы «Пеликон» [4]. «Чем более крупные поры образованы в мембране, тем более понятен процесс фильтрации через мембрану, тем более он по физическому смыслу приближается к так называемому механическому фильтрованию» [5].

Материалы и методы. В работе преимущественно использовался метод анализа и обзора информации из научных, методических и научно-технических источников. В основу исследования вопросов данной статьи легли труды таких российских ученых, как О. Е. Ясонида [6], В. П. Максименко, С. А. Зайцев [3], Н. А. Безроднов [1], Т. В. Коржова [7], С. М. Васильев, В. Н. Шкура [7, 8], А. С. Штанько [8], Г. Т. Балакай, Л. А. Воеводина, А. Н. Бабичев, В. А. Кулыгин, Н. И. Балакай, М. В. Евтухов, Д. Б. Латария, Ю. Ф. Снопич, Т. А. Погоров, Д. В. Сухарев, Е. А. Бабичева, Н. И. Тупикин, Е. А. Кропина, А. Б. Фиошин [9], В. Н. Щедрин [10] и др.

В исследовании рассматривается баромембранный метод водоподготовки [3].

Результаты и обсуждения. Стоимость сооружений для очистки воды в зависимости от их сложности составляет 10–30 % от капиталовложений в строительство систем капельного орошения. В связи с этим очень важно правильно выбрать конструкцию капельницы для конкретных условий, что резко уменьшит затраты на строительство и эксплуатацию системы капельного орошения [11].

При значительном количестве гидробионтов в прудах, озерах, водохранилищах и других источниках воду предварительно хлорируют в подводящем канале или обра-

батывают медным купоросом, а после этого очищают на микрофильтрах и подают насосами второго подъема на поливной участок.

В том случае, когда вода забирается из оросительных каналов и рек и имеет высокую мутность, применяют двухступенчатую очистку. На первом этапе очистки используют сетки, отстойники, микрофильтры и гидроциклоны. Более тщательную доочистку воды проводят на гравийно-песчаных, гравийно-сетчатых фильтрах и фильтрах с плавающей вспененной полистирольной загрузкой [12–14].

При проектировании состав очистных сооружений может быть предварительно определен по СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» [2] и по справочнику проектировщика «Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий» 1977 г. [15].

От качества подготовки (очистки) поливной воды (водоподготовки), подаваемой в систему капельного орошения, зависит надежность работы оросительной сети, уровень безопасности поливов для почвы и растений, качество и количество получаемой сельскохозяйственной продукции.

В статье рассматриваются три вида засорения капельных систем: биологическое, химическое и механическое.

Биологическое засорение. Засорение (загрязнение) капельных водоводов и капельниц может осуществляться бактериями и водорослями («бактериальное» и «водорослевое» засорение). При бактериальном загрязнении в капельной трубопроводной системе образуется клейкое, желеобразное вещество, при определенных скоплениях которого наблюдается закупоривание капельниц и водоводов. Интенсивное образование бактерий отмечается в трубопроводных системах с теплой водой, содержащей такие питательные элементы, как CO_2 , Na, P, Fe, Cu, Mo и ряд других. Поливная вода, содержащая более 0,1 мг/л сульфидов, может спровоцировать образование и развитие серных бактерий непосредственно в системе капельного орошения (для исключения «сернобактериального загрязнения» капельной сети может потребоваться проведение регулярного хлорирования поливной воды).

Химическое загрязнение. При использовании жесткой поливной воды с $\text{pH} > 7,5$ на стенках водоводов могут образовываться отложения Ca и Mn. При содержании в воде соединения CaCO_3 со степенью насыщенности более 0,5 и при жесткости воды более 300 мг/л проявляется солевое закупоривание капельниц. Среди загрязнителей капельниц – полуторасернистое железо, марганец и гидроокиси металлов. Загрязнители (засорители) в системах капельного орошения могут образовываться и затем выпадать в осадок при смешивании в трубопроводах отдельных видов удобрений.

Механическое засорение капельных трубопроводных сетей и устройств капельного орошения (капельниц) осуществляется содержащимися в поливной воде крупными взвесями. При этом размер задерживаемых (подлежащих задержке в фильтре) частиц (взвесей) во избежание засорения капельных микроводовыпусков не должен превышать 0,1 размера минимального прохода в капельнице.

При высоком содержании в воде биологических, химических и механических загрязнителей предусматривается первичная (отстойная и химическая) обработка природной воды в отстойниках (в бассейнах или в соответствующе оборудованных резервуарах).

В зависимости от качества исходной воды подбирают очистные сооружения. Выбор состава очистных сооружений представлен в таблице 1 [6].

Таблица 1 – Выбор состава очистных сооружений

Производи- тельность сооружений, м³/ч	Условия применения				Возможный вариант
	Качество исходной воды				
	Взвешенные вещества, мг/л	Концентрация гидробионтов, мг/л	Количе- ство желе- за, мг/л	Характеристика взвеси	
23–1100 (НСФ)	< 50	20–50, 40–100 тыс. кл./мл	–	Тонкодисперсная взвесь $d_y < 100$ мкм. Водоросли $d_b = 0,1...0,2$ мм	Напорные сетчатые автоматически промываемые фильтры (НСФ) либо микрофильтры с непрерывной промывкой фильтрующего полотна (МФ), размер ячеек сеток от 20 до 40 мкм (МФ), 70–250 мкм (НСФ)
100–896 (МФ), 416–3750 (БС)	50–200, 150 (КФ)	5–20, 10–20 тыс. кл./мл	–	Взвесь полидисперсная $d_y = 0,001...0,5$ мм. Водоросли $d_b = 0,01...100$ мм	Микрофильтры, барабанные сетки (БС) или напорные сетчатые фильтры + крупнозернистые кварцевые или гравийно-кварцевые фильтры (ГКФ), 25–250 мкм (БС), 200–2500 мкм (НСФ)
10–20 (ГКФ), любая при тех- нико-экономи- ческом обос- новании (ТЭО)	200–300	< 100 кл./мл (ГКФ), < 1000 кл./мл	–	Взвесь полидисперсная $d = 0,001...0,5$ мм	Гидроциклоны + гравийно-кварцевые фильтры или фильтры с плавающей загрузкой
Любая при ТЭО	500–1000, 500 (ФПЗ)	–	–	Взвесь полидисперсная с плотностью частиц $\rho < 1,0$ г/см³, $d = 0,01...5,0$ мм	Гидроциклоны + гравийно-кварцевые фильтры или фильтры; гидроциклоны + фильтры с плавающей за- грузкой; фильтры с плавающей загрузкой
Любая при ТЭО	500–1000, 500 (ФПЗ)	> 1000 < 500 (ФПЗ)	0,1 + 2	Взвесь полидисперсная $d = 0,01...5,0$ мм	Ковши (бассейны) отстаивания, земляные и бетонные отстойники + гравийно-кварцевые фильтры; тонко- слойные отстойники + зернистые фильтры; гидро- циклоны + фильтры с плавающей загрузкой
100 (ГКФ), любая при ТЭО	–	–	< 2 + 15	Хлопья гидроокиси железа после аэрации	Упрощенная или принудительная аэрация в бассей- нах + фильтры с зернистой, песчаной или пенополи- стирольной загрузкой

Нужно учитывать, что сегодня чаще в системах капельного орошения используются микроспринклеры, нежели капельницы, вмонтированные в трубопроводы капельных систем [9]. Размер микроспринклеров обычно составляет до 0,8 мм, а капельниц от 0,5–1,0 мм [16]. Из этого следует, что для системы водоподготовки необходимо применять фильтр, обеспечивающий оптимальную работу микроспринклеров и уж тем более – капельниц. Для решения поставленной задачи в исследовании рассматривается баромембранный метод водоподготовки, а именно метод микрофильтрации. Теоретически, оборудовав блок водоподготовки системы капельного орошения микрофильтрационной мембраной, можно оптимизировать работу системы в целом и сделать ее менее затратной, исключить из конструкции системы фильтры тонкой очистки на местах узлов водовыделов в оросители и капельные линии, уменьшить давление по сети. Микрофильтрационная мембрана в составе водозаборно-очистного сооружения оптимизирует работу системы капельного орошения и продлит срок ее службы. Планируется, что в нормальном режиме фильтрующая кассета с микрофильтрационной мембраной обеспечит суммарную производительность системы. В последующих работах будет произведен гидравлический расчет фильтрующей кассеты с микрофильтрационной мембраной и обоснован ее выбор.

Среди мембранных фильтрующих материалов почетное место занимают микрофильтрационные мембраны с цилиндрическими порами, которые производятся облучением полимерных пленок пучком заряженных частиц и последующим химическим травлением материала области треков этих частиц до получения сквозных пор. Отличительные свойства таких мембран – малая толщина и цилиндрические поры, что обеспечивает высокую селективность разделения и легкость регенерации. В ФГУП «Центр Келдыша» разработана серия рулонных микрофильтрационных элементов на основе мембран с цилиндрическими порами, способных к обратной водной промывке, они отличаются высокой производительностью при очистке водных суспензий. При фильтрации природных вод скорость образования отложений на поверхности и в порах мембран определяется свойствами мембраны (гидрофобностью, зарядом поверхности и ее морфологией), физико-химическими характеристиками фильтруемой воды (структурой и зарядом загрязняющего вещества, величиной pH, ионной силой и содержанием ионов кальция), а также гидродинамическими параметрами процесса. Производительность мембран при фильтрации природных вод существенно зависит от присутствия в них коллоидных частиц размером 3–20 нм (неорганических и органических). Характеристики баромембранного метода водоподготовки представлены в таблице 2 [3].

Таблица 2 – Характеристики баромембранного метода водоподготовки

Метод	Размер пор, мкм	Поток очищенной воды, л/(ч·м ² ·Па)	Рабочее давление, Па	Отношение пермеат/исходная вода, %	Удаляемая примесь
Микрофильтрация	0,1–1,0	$0,2 \cdot 10^{-2}$ – $0,5 \cdot 10^{-2}$	Менее $20 \cdot 10^4$	95–99	Взвешенные вещества, крупные коллоиды, эмульсии, цисты простейших, водоросли

Выводы. В ходе исследования были установлены виды и типы загрязнителей, негативно влияющие на системы капельного орошения, рассмотрены способы и средства очистки воды в системах капельного орошения сельскохозяйственных растений.

Особое внимание в исследовании уделено средствам механической и биологической очистки, а именно фильтрующим мембранным материалам. Установлено, что водозаборно-очистное сооружение с фильтрующей кассетой из мембранного материала уменьшает нагрузку на систему капельного орошения, увеличивает срок ее службы, яв-

ляется экономически выгодным вариантом в сравнении с водозаборным сооружением без фильтрующих кассет, а также задерживает не только механический загрязнитель с фракциями от 0,1–1,0 мкм, но и биологический загрязнитель.

Список источников

1. Пат. 2411719 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/09. Установка для очистки воды преимущественно для систем капельного орошения / Безроднов Н. А., Кузнецов П. И., Мелихов В. В., Константинова Т. Г.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т орошаемого земледелия Россельхозакадемии. № 2009122097/21; заявл. 09.06.09; опубл. 20.02.11, Бюл. № 5. 7 с.
2. Строительные нормы и правила. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СП 31.13330.2012: утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 29.12.11: введ. в действие с 01.01.13. М.: Минрегион России, 2012. 153 с.
3. Максименко В. П., Зайцев С. А. Регулирование качества поливной воды на оросительных системах // Природообустройство. 2011. № 5. С. 15–20.
4. Орлов Н. С. Ультра- и микрофильтрация: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. 117 с.
5. Первых В. Д. Баромембранные методы очистки воды // Сибирская экологическая компания. 2011. № 5(41). С. 22–23.
6. Ясонида О. Е. Капельное орошение: монография / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: Лик, 2011. 322 с.
7. Васильев С. М., Коржова Т. В., Шкура В. Н. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. 200 с.
8. Васильев С. М., Шкура В. Н., Штанько А. С. Капельные оросительные системы: учеб. пособие. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. 179 с.
9. Безопасные системы и технологии капельного орошения: науч. обзор / сост.: Г. Т. Балакай, Л. А. Воеводина, А. Н. Бабичев, В. А. Кулыгин, Н. И. Балакай, М. В. Евтухов, Д. Б. Латария, Ю. Ф. Снопич, Т. А. Погоров, Д. В. Сухарев, Е. А. Бабичева, Н. И. Тупикин, Е. А. Кропина, А. Б. Финошин; М-во сел. хоз-ва РФ. Новочеркасск, 2010. 52 с.
10. Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, А. А. Чураев, А. Н. Бабичев; под ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. 164 с.
11. Сельскохозяйственное водоснабжение. Мелиорация и водное хозяйство: справочник. М.: Агропромиздат, 1992. 287 с.
12. Оводов В. С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1984. 480 с.
13. Айдаров И. П., Голованов А. И., Мамаев М. Г. Оросительные мелиорации. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1982. 176 с.
14. Костяков А. Н. Основы мелиораций: учеб. пособие для с.-х. вузов. М.: Сельхозгиз, 1938. 732 с.
15. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / В. А. Клячко [и др.]; под ред. И. А. Назарова. М.: Стройиздат, 1977. 288 с.
16. An in-situ accelerated experimental testing method for drip irrigation emitter clogging with inferior water / S. Han, Y. Li, B. Zhou, Z. Liu, J. Feng, Y. Xiao // Agricultural Water Management. 2019. Vol. 212. P. 136–154. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.024>.

Информация об авторе

Ю. Я. Сарахатунова – аспирант.

Information about the author

Yu. Ya. Sarakhatunova – Postgraduate Student.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.10.2021; одобрена после рецензирования 26.11.2021; принята к публикации 17.12.2021.

The article was submitted 21.10.2021; approved after reviewing 26.11.2021; accepted for publication 17.12.2021.