

ОБ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОМ РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В.П. Максименко, Е.Б. Стрельбицкая, С.А. Зайцев

**Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации
имени А.Н. Костякова**

Рассмотрены вопросы подготовки воды с целью поддержания экологической устойчивости агроландшафта на оросительных системах. Поднимается вопрос о необходимости регулирования ионного состава и общей минерализации поливной воды с целью направленного улучшения физических и химических свойств почв на орошаемых землях, снижения риска их засоления, осолонцевания и поддержания экологической устойчивости агроландшафта. Приведены способы направленного изменения качества оросительной воды в технологиях его регулирования. Определены преимущества метода обратного осмоса по сравнению с другими методами разделения ионного состава воды, а также сущность мембранного способа, при реализации которого изменение компонентного состава воды осуществляется на молекулярном уровне. Представлена схема установки для регулирования качества воды, с помощью которой можно готовить воду разного ионного состава и нужного качества для нескольких потребителей: капельного или внутрипочвенного орошения, питьевого водоснабжения и технических нужд. Обосновывается целесообразность этого способа подготовки воды, обеспечивающего снижение затрат на подготовку воды, поступающей на увлажнение почвы, получение воды определенного качества для многоцелевого использования и способствующего снижению антропогенного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: почва, мелиорация, орошение, качество поливной воды, водоподготовка, мембраны, ионный состав воды, обратный осмос, схема установки, технология

Engineering-Technical Solution of Environmental Problems of Water Management in Agriculture

V.P. Maksimenko, E.B. Strelbitskaya, S.A. Zaitsev

All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation

Questions of water treatment in order to hold the environmental stability of the farm landscape based on irrigation systems are considered. The question on the necessity to control the ion composition and total mineralization of irrigation water in order to directly improve physical and chemical properties of soils at irrigated areas, lowering the risk of their salinization and alkalization, and holding the environmental stability of farm landscape, is brought up. The methods of directed varying the quality of irrigation water in technologies of its controlling are presented. The advantages of the method of the reverse osmosis compared with other separation methods of the ion composition of water and the essence of the membrane method are determined. When implementing this method, the component composition of water varies at a molecular level. The schematic of the installation for the water quality control, using which, water of various ion compositions and required quality for several consumers; notably, for the drop or intrasoil irrigation, drinking water supply, and technical needs; is presented. The reasonability of this method of water treatment; which provides a decrease in expenses for the treatment of water entering soil moistening, preparation of water of a definite quality for the multi-purpose use, and promotes a decrease in the anthropogenic effect on the surrounding medium; is substantiated.

Key words: soil, reclaiming, irrigation, irrigation water quality, water treatment, membranes, ion composition of water, reverse osmosis, installation schematic, technology

По данным Государственного доклада "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году" суммарный забор воды из при-

родных водных объектов составил 56785,89 млн м³ [1]. Орошаемое земледелие, наряду с хозяйственно-питьевым водоснабжением и промышленностью, является одним из крупнейших потребителей природных водных ресурсов и одновременно может служить источником загрязнения водных объектов при сбросе дренажных вод, содержащих, как правило, повышенное количество солей, биогенных элементов, пестицидов, тяжелых металлов и других загрязняющих веществ. Хотя объем сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты, в 2013 г.

уменьшился на 5,8 % по сравнению с 2012 г. и составил 42895,53 млн м³, сброс загрязненных (без очистки и недостаточно очищенных) сточных вод увеличился на 1 % и составил 15189,24 млн м³, или 35,4 % от общего объема сброса сточных вод. В Государственном докладе отмечено, что: "Одним из существенных факторов, определяющих величину негативного воздействия на водные объекты, является неспособность обеспечить достаточный уровень очистки всего объема образующихся сточных вод".

Поэтому при исходном (природном) неблагоприятном



качестве воды для орошения в водоисточниках на территории Российской Федерации ситуация усугубляется сбрасываемыми большими объемами загрязненных вод в открытые водоисточники, которые значительно превышают их буферную способность противостоять антропогенной нагрузке. В результате тенденция снижения качества воды, забираемой на нужды хозяйственно-питьевого снабжения, для орошения, сельскохозяйственного водоснабжения и других потребителей, продолжает нарастать. Такое положение дел с использованием водных ресурсов отрицательно сказывается на экологии, как в целом по стране, так и на экономике потребителей. Например, под воздействием применяемой некачественной воды, как одного из основных факторов, на орошаемых землях происходит ухудшение их мелиоративного состояния, снижение плодородия почв и, как следствие, отражается на урожайности сельскохозяйственных культур и качестве растениеводческой продукции.

В сложившейся ситуации для решения проблемных вопросов, связанных с обеспечением продовольственной независимости в засушливых регионах страны, на первое место по актуальности выходят мероприятия, связанные с разработкой и внедрением методов, технологий, новых ресурсосберегающих гидромелиоративных систем, оборудованных сооружениями водоподготовки, с комплексным обеспечением разных потребителей водой с допустимыми уровнями содержания токсичных солей и сбалансированным ионным содержанием, а также обеспечивающих утилизацию дренажно-сбросных минерализованных вод, способствующих предотвращению загрязнения водных объектов сточными водами и повышению экологической безопасности.

Способы направленного изменения качества ороситель-

ной воды могут быть различными и должны способствовать созданию условий получения качественной продукции, улучшению физических и химических свойств почвы. Из существующих, нашедших наибольшее распространение в технологиях регулирования качества воды, можно выделить следующие способы: механические (фильтрация, гидроциклонирование, 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); биологические и биохимические. Все они имеют как положительные, так и отрицательные моменты и могут применяться как самостоятельно, так и в комплексе.

Если рассматривать технологический процесс подготовки воды с позиции возможного оперативного управления ее качеством, то наибольший практический интерес в этом плане представляет мембранный способ, при реализации которого изменение компонентного состава воды осуществляется на молекулярном уровне. Такой способ регулирования качества воды, забираемой на орошение, питьевого водоснабжения и другие цели, позволяет изъять из оборота токсичные и канцерогенные вещества до потребительского уровня и создать на ионном уровне воду с заданными параметрами. Нами начаты работы в этом направлении. Отрабатывается возможность подготовки воды с ионным составом, обеспечивающим снижение антропогенной нагрузки на экологию агроландшафта и формирование устойчивой почвенной структуры путем изъятия из оборота натрия и хлора.

К преимуществам метода обратного осмоса по сравне-

нию с другими методами разделения ионного состава воды можно отнести:

- высокий коэффициент полезного действия при некотором сохранении энергии, которая расходуется на преодоление потерь на трение раствора, протекающего через аппарат, на перенос фильтрата через мембрану и на термодинамическую работу выделения вещества. Теоретически расход энергии при обратном осмосе в несколько раз меньше расхода энергии при дистилляции;

- возможность использования "выбранной фильтрации" для разделения многокомпонентных систем, которыми являются не только поливная, но и коллекторно-дренажные сбросные воды.

Обратный осмос обеспечивает очистку до уровня требуемого ионного содержания, а применение в рабочей схеме нескольких параллельно работающих обратноосмотических модульных установок может обеспечить необходимую производительность. Основным рабочим элементом в обратноосмотических установках являются мембраны, изготавливаемые с заданной селективностью.

Реализацию предложенной концепции можно начать с гиперфильтрационной теории, которая основана на том, что в мембране имеются поры, диаметр которых достаточен, чтобы пропускать молекулы воды, но мал для прохождения молекул растворенных веществ с большой молекулярной массой (M), а также для прохождения ионов, окруженных гидратной оболочкой (А.с. 1785726 СССР).

Обычно применяют мембраны двух типов: для обратного осмоса и для ультрафильтрации. Первые задерживают почти все ионы, в том числе Na^+ и Cl^- , вторые — молекулы с большой молекулярной массой ($M > 1000$) и частично ионы с большими гидратными оболочками (SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Al^{3+} и др.). Для отделения одновалентных

Сравнительные характеристики баромембранных методов водоподготовки [2]

Метод	Размер пор, мкм	Поток очищенной воды, л/(ч·м ² ·атм)	Рабочее давление, бар	Отношение пермат/исходная вода, %	Удаляемые примеси
Микро-фильтрация	0,1 – 1	200 – 500	Менее 2	95 – 99	Взвешенные вещества, крупные коллоиды, эмульсии, цисты простейших, водоросли
Ультра-фильтрация	0,05 – 0,005	20 – 400	1,0 – 4,5	85 – 95	Взвешенные вещества, коллоиды, цисты простейших, водоросли, бактерии, вирусы, высокомолекулярные органические вещества
Нано-фильтрация	0,005 – 0,0005	5 – 40	3,5 – 20	50 – 75	Взвешенные вещества, микроорганизмы, высокомолекулярные органические растворенные вещества, 20 – 85 % растворенных неорганических веществ
Обратный осмос	0,0005 – 0,0001	1 – 10	12 – 70	50 – 85	Взвешенные вещества, микроорганизмы, органические растворенные вещества, 90 – 95 % растворенных неорганических веществ

ионов в воде от поливалентных необходимы мембраны с диаметром пор большим, чем размеры одновалентных ионов воды, но меньшим, чем размеры двухвалентных ионов. Таким образом, размеры пор должны быть промежуточными между размерами пор в фильтрах обратного осмоса (типа МГА) и в фильтрах для ультрафильтрации (типа УАМ).

Среди мембранных фильтрующих материалов важное 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. Основными отличительными свойствами таких мембран являются 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, которые отличаются высокой производительностью при очистке водных суспензий.

При фильтрации природных вод скорость образования отло-

жений на поверхности и в порах мембран определяется свойствами мембраны (гидрофобность, заряд поверхности и морфология (структура) поверхности), физико-химическими характеристиками фильтруемой воды (структура и заряд загрязняющего вещества, величина рН, ионная сила и содержание 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), растворенных органических веществ природного и антропогенного происхождения, ила, остатков биологического распада растений и организмов, микроорганизмов.

Основными требованиями к элементам системы мембранного способа управления ионным составом оросительной воды, ориентированной на удаление натрия и хлора, являются: материал, используемый для мембран; параметры мембран; организационно-хозяйственные и почвенно-климатические условия; критерии качества и ионного состава оросительной воды.

Каждый мембранный процесс дает свой эффект, различные частицы будут задержи-

ваться в разной степени в зависимости от установки. По данным И.В. Пригуна и М.С. Краснова [2], в зависимости от метода регулирования качества воды используются мембраны с определенными размерами пор, при применении которых достигается соответствующий эффект по удалению примесей из подготавливаемой воды (см. таблицу).

Анализируя эти данные, видно, что если устанавливать на оросительную сеть только системы с мембранами нанофильтрации или обратного осмоса, то на выходе получим чистую воду. В ней не будет ионов натрия и хлора и таких необходимых элементов, как, например, кальций, так как двухвалентные ионы будут отсеиваться в первую очередь. Эффективность такой воды для орошения будет очень низкой, как по созданию условий формирования структуры почвы, так и урожайности сельскохозяйственных культур из-за несбалансированности ионного состава почвенных растворов.

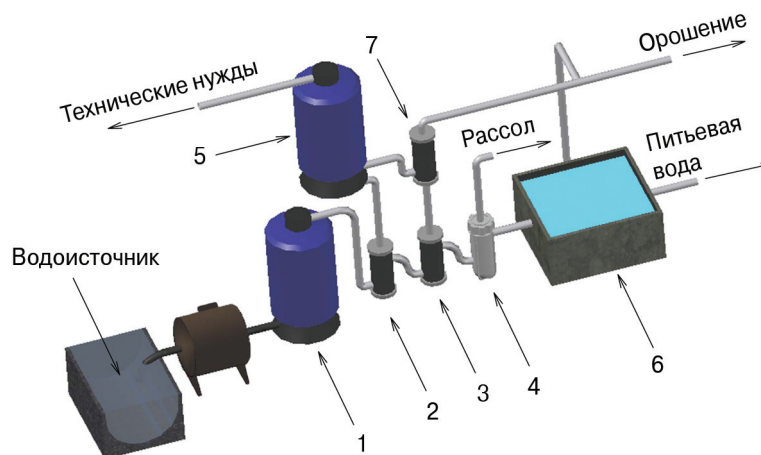
Вода, предназначенная для орошения, должна содержать кальций, основные элементы питания растений и микроэлементы. В этом случае после первой ступени очистки воду с нужными элементами необходимо отвести в отдельный резервуар. И только, когда вода пройдет все ступени очистки, добавлять в нее отведенную в резервуар воду с нужными ионами. В этом случае вода пойдет по двум линиям очистки: первая — многоступенчатая мембранная очистка с применением обратного осмоса, ультра- и микрофильтрацией, вторая — соленая вода после каждой ступени очистки будет сбрасываться в резервуары для дальнейшего отделения необходимых элементов с последующим добавлением их в очищенную воду на первой линии (см. рисунок).

В таком варианте установки вода из водоисточника поступает на блок очистки от взвешенных примесей 1, после чего по-

падает на ультрафильтрационную мембрану 2, где происходит отделение ионов с большими гидратными оболочками (пестициды, гербициды и др.), которые попадают в блок химической очистки 5, куда может сбрасываться часть микроэлементов и тяжелых металлов с мембраны 7, содержание которых в поливной воде избыточно для возделываемой культуры. После соответствующей подготовки вода в блоке 5 может быть использована для технических нужд. На мембране 3 происходит разделение многовалентных и одновалентных ионов. Вода с многовалентными ионами поступает на мембрану 7, где происходит их калибровка по предельно допустимым концентрациям, а с одновалентными — на обратноосмотическую мембрану 4, которая обладает ориентированной селективной способностью на отделение особо токсичных одновалентных ионов, например, натрия и хлора. Вода, прошедшая через мембрану 4, поступает в распределительный блок 6 и может использоваться как для питьевых нужд, так и путем смешения с водой, прошедшей через мембрану 7, для орошения. Получаемый на мембране 4 рассол поступает в испарительный бассейн или подвергается утилизации.

Имея такую установку, можно подготовить воду с любым ионным составом и для разных целей. Несложно предположить, что на выходе объемы этой воды не будут столь большими, чтобы реализовать полив дождеванием, но достаточными для капельного или внутрипочвенного орошения, при которых затраты воды для поддержания заданных уровней влажности почвы значительно меньше по сравнению с другими способами полива.

По мнению многих исследователей, в техническом отношении мембранный способ достаточно хорошо разработан, но применение его только для целей орошения ограничивается высокой стоимостью опреснительных устройств. Поэтому



Принципиальная схема установки для подготовки воды для орошения

целесообразно рассматривать подготовку воды с одной стороны, как комплексную производственную задачу обеспечения водой нужного качества нескольких потребителей, а с другой — способствовать снижению антропогенного прессинга на экологию со следующих позиций:

- практических, направленных на одновременное удовлетворение нескольких потребителей водой разного качества (питьевой, технической для коммунальных целей и орошения), т.е. обеспечивающих высокий коэффициент использования водных ресурсов;

- мелиоративных, связанных с сохранением и восстановлением плодородия почвы, предотвращением процессов осолонцевания, повышением урожайности сельскохозяйственных культур и повышением эффективности использования химмелиорантов, макро- и микроудобрений;

- экологических, способствующих удалению токсичных элементов и соединений из гидрохимического оборота, предотвращению эрозионных процессов, вторичного засоления и позволяющих получать чистую растениеводческую продукцию.

Таким образом, использование мембранного способа подготовки воды позволяет готовить ее для применения в орошаемом земледелии и создавать условия для предотвращения процессов осолонцевания почв, тем самым способствуя сохранению их плодородия, что является одним из основных факторов, определяющих экологию агроландшафта. Применение таких устройств способствует созданию экологически безопасных гидромелиоративных систем, экономии водных ресурсов, освоению новых земель и получению с них дополнительной сельскохозяйственной продукции, а также снижению антропогенного прессинга на природные источники водных ресурсов.

Литература

1. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2013 году" (проект — v.07/07/2014) [Электронный ресурс]. <http://www.mnr.gov.ru/regulatory>. Дата обращения 11.12.2014.
2. Пригун И.В., Краснов М.С. Умягчение или нано фильтрация? Выбор за вами // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2009. № 2. С. 10-18. ■

Авторы: В.П. Максименко — д-р с.-х. наук, зав. отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, e-mail: Maksymenko@mail.ru • Е.Б. Стрельбицкая — канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник • С.А. Зайцев — инженер-гидротехник, аспирант