

УДК 502/504:631.67:628.16

В. П. МАКСИМЕНКО, С. А. ЗАЙЦЕВ

Государственное научное учреждение

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

**РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ
НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Рассмотрены вопросы подготовки воды при орошении, в частности 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 и поддержания экологической устойчивости агроландшафта. Представлена схема установки для регулирования качества воды, с помощью которой можно готовить воду разного ионного состава для целей орошения, питьевого водоснабжения и промышленных нужд. Такому подходу отдается приоритет.

Почва, мелиорация, орошение, качество поливной воды, водоподготовка, мембраны, ионный состав воды, обратный осмос, схема установки, технология.

There are considered questions of water preparation for reclamation purposes at irrigation, in particular a question of the necessity of regulation of the ion composition and general mineralization of the irrigation water aiming at the intended improvement of physical and chemical soil properties on the irrigated lands, reducing the risk of their salinization and maintaining an ecological stability of the agricultural landscape. The scheme of a plant is given for regulation of water quality by means of which it is possible to prepare water of various ion compositions with an aim of irrigation, drinking water supply and for industrial needs. The priority is given to such an approach.

Soil, reclamation, irrigation, quality of the irrigation water, water preparation, membranes, ion water composition, reverse osmosis, plant scheme, technology.

Деградация земель сельскохозяйственного назначения как основного средства производства в сельском хозяйстве представляет собой одну из важнейших социально-экономических проблем. В почвах таких земель формируется отрицательный баланс питательных веществ с их неблагоприятным для растения соотношением. Ежегодный вынос питательных веществ из почвы в 3 раза превышает их возврат с вносимыми минеральными и органическими удобрениями. Большая часть урожая в современной земледелии формируется за счет мобилизации почвенного плодородия при недостаточной компенсации выносимых с урожаем элементов питания.

На орошаемых землях происходит засоление и осолонцевание почв. Под воздействием этих процессов с каждым годом выходит из строя все больше земель сельскохозяйственного назначения. Засо-

ление является одним из наиболее распространенных деградационных почвенных процессов, значительно снижающих плодородие сельскохозяйственных земель. Производство продукции в таких условиях сопровождается большими материальными и энергетическими затратами на удаление солей и улучшение физических и химических свойств почв, а также на последующее поддержание состояния, позволяющего продуктивно использовать эти земли в сельскохозяйственном производстве. Сегодняшнее мелиоративное состояние орошаемых земель характеризуется как неудовлетворительное на площади более 860 тыс. га. Это 20 % к числящимся в обороте землям, из них на 330 тыс. га наблюдается высокое залегание уровня грунтовых вод, на 260 тыс. – засоление почв, на 270 тыс. га – оба неблагоприятных процесса. Более 70 % орошаемых земель, имеющих неудовлет-

ворительное мелиоративное состояние, сосредоточено в южных регионах России (табл. 1).

Из представленных в табл. 1 данных видно, что ухудшение мелиоративного состояния орошаемых земель продолжается. Площади с хорошим почвенно-мелиоративным состоянием с 1990 по 2009 год уменьшились с 4,09 до 2,39 млн га, или на 41,5 % [1]. Ухудшение мелиорированных земель сопровождается изменением количественного и качественного содержания солей в почве, обуславливая изменение ее физических и химических свойств в сторону ухудшения.

Интенсивность процессов ухудшения мелиоративных режимов и снижения плодородия почв на орошаемых землях определяется качеством поливной воды (табл. 2). Тенденция ухудшения качества воды в водоисточниках – процесс устойчивый, обусловленный увеличением антропогенной нагрузки на ландшафты

водосборов. Следовательно, возникшая проблема сегодняшнего дня будет существовать, и ее необходимо разрешать во всех отраслях общественного производства, включая отрасль производства растениеводческой продукции на орошаемых землях. С этой целью целесообразно предусматривать устройства для направленного регулирования качества поливной воды, что обеспечило бы возможность формирования благоприятного солевого режима почв, снижение затрат на мероприятия по воспроизводству плодородия почв и поддержание экологической стабильности.

Природная вода представляет собой сложную многокомпонентную динамическую систему, в состав которой входят различные минеральные соли и органические соединения (фульвокислоты, гуматы), газы, диспергированные примеси и взвешенные вещества (глинистые, гипсовые и известняковые частицы), гидроби-

Таблица 1

Качественное и количественное изменение мелиоративного состояния орошаемых земель

Состояние орошаемых земель	Год			
	1990	2000	2005	2009
Всего орошаемых земель, млн га	6,16	4,44	4,49	4,25
В том числе:				
в хорошем мелиоративном состоянии	4,09	2,69	2,56	2,39
в удовлетворительном	1,23	1,05	1,02	1,00
в неудовлетворительном	0,84	0,70	0,91	0,86
Из них не поливалось	1,28	1,70	1,92	1,80
В том числе по причинам:				
неисправности оросительной сети	0,20	0,95	1,05	1,00
другим причинам	0,64	0,14	0,74	0,80

Таблица 2

Классификация оросительной воды по качеству [2]

Класс качества воды	Допустимые уровни минерализации поливной воды (г/л) для почв			Оценка качества воды по степени опасности развития процессов (мг-экв/л)			
	С тяжелым гранулометрическим составом и/или с ППК > 30	Со средним гранулометрическим составом и/или с ППК = 30...15	С легким гранулометрическим составом и/или с ППК < 15	засоления	осолонцевания		содообразования
				Cl ⁻	Na ⁺ / Ca ²⁺	Mg ²⁺ / Ca ²⁺	(CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ²⁻)/ (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)
I – неопасный	0,2...0,5	0,2...0,6	0,2...0,7	< 2,0	< 0,5	< 1,0	< 1,0
II – малоопасный	0,5...0,8	0,6...1,0	0,7...1,2	2,0 ... 4,0	0,5...1,0	1,0...1,5	1,0...1,25
III – умеренно опасный	0,8...1,2	1,0...1,5	1,2...2,0	4,0...10,0	1,0...2,0	1,5...2,5	1,25...2,5
IV – опасный	> 1,2	> 1,5	> 2,0	> 10,0	> 2,0	> 2,5	> 2,5

онты (планктон, бентос, нейстон), бактерии и вирусы.

Для целей орошения в конкретных почвенно-климатических условиях необходима вода определенного качества (см. табл. 2).

Для нормального роста и развития сельскохозяйственных культур, кроме основных элементов питания – азота, фосфора и калия, необходимы вещества, которые являются биохимическими катализаторами, способствующими усвоению основных элементов питания, продуцированию биомассы и формированию урожая. Такими микроэлементами являются цинк, медь, марганец, бор, кобальт, молибден. Их содержание в поливной воде должно быть в допустимых количествах.

Соблюдение требований к качеству воды является определяющим условием ее использования для орошения. В связи с этим должна быть принята новая стратегия развития гидромелиорации, обеспечивающая получение достаточно высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и исключая негативные последствия орошения. Мелиоративные системы нового поколения, оснащенные специальными техническими средствами, должны обеспечивать деминерализацию и улучшение качества оросительных и дренажно-сбросных вод путем выведения из гидрохимического оборота токсичных солей, избытка микроэлементов, биогенов и пестицидов с последующей их утилизацией [3, 4].

Способы направленного изменения качества оросительной воды могут быть различными и должны способствовать созданию условий получения качественной продукции, улучшению физических и химических свойств почвы. Из существующих способов, наиболее распространенных в технологиях регулирования качества воды, можно выделить следующие: 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). 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. В 1980 году общая мощность всех опреснительных установок, работающих по методу обратного осмоса, составляла примерно 1,4 млн м³/сут, из них 70 тыс. м³/сут – на морской воде. К 1983 году мощность установок опреснения морской воды возросла до 110 тыс. м³/сут.

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. 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 отложений на поверхности и в порах мембран определяется свойствами мембраны (гидрофобностью, зарядом поверхности и морфологией поверхности), 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), растворенных

органических веществ природного и антропогенного происхождения, ила, остатков биологического распада растений и организмов, микроорганизмов [5].

Метод обратного осмоса используется с различными целями во многих отраслях народного хозяйства: в опреснительных установках (приготовление технической воды, очистка воды для питьевых нужд), при приготовлении воды для кондиционирования, при очистке сточных вод.

Преимущества метода обратного осмоса по сравнению с другими методами разделения ионного состава воды:

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 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.

Существующие методы мембранной очистки воды для реализации 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 [6].

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 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).

Устройства и установки, работающие с использованием мембран, можно использовать на оросительных системах, создавая воду с низким содержанием натрия или хлора, понижая общую минерализацию воды или освобождая ее от нежелательных компонентов. Основные требования к элементам системы мембранного способа управления ионным составом оросительной воды следующие: применение материала, используемого специально для мембран; параметры мембран должны быть оптимальными; выдержаны организационно-хозяйственные и почвенно-климатические условия; проведен предварительный химический (качественный и количественный) анализ оросительной воды; установлены критерии качества и ионного состава оросительной воды.

Каждый мембранный процесс дает свой эффект, различные частицы будут задерживаться в разной степени в зависимости от установки. По данным И. В. Пригуна и М. С. Краснова, 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 [7].

При анализе этих данных видно, что если устанавливать на оросительную сеть только системы с мембранами нанофильтрации или обратного осмоса, то на выходе получится чистая вода. 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 урожайности сельскохозяйственных культур, так и по

Сравнительные характеристики баромембранных методов водоподготовки [7]

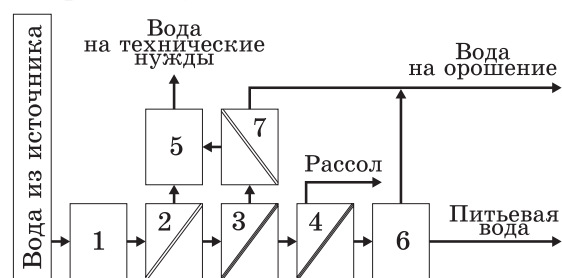
Метод	Размер пор, мкм	Поток очищенной воды, л/(ч·м ² ·Па)	Рабочее давление, Па	Отношение пермеат / исходная вода, %	Удаляемые примеси
Микрофильтрация	0,1...1	$0,2 \cdot 10^{-2}$ $0,5 \cdot 10^{-2}$	Менее $20 \cdot 10^4$	95...99	Взвешенные вещества, крупные коллоиды, эмульсии, цисты простейших, водоросли
Ультрафильтрация	0,05... 0,005	$1,97 \cdot 10^{-4}$ $0,4 \cdot 10^{-2}$	10^5 $45 \cdot 10^4$	85...95	Взвешенные вещества, коллоиды, цисты простейших, водоросли, бактерии, вирусы, высокомолекулярные органические вещества
Нанофильтрация	0,005 0,0005	$4,93 \cdot 10^{-5}$ $3,95 \cdot 10^{-4}$	$35 \cdot 10^4$ $20 \cdot 10^5$	50...75	Взвешенные вещества, микроорганизмы, высокомолекулярные органические растворенные вещества, 20...85 % растворенных неорганических веществ
Обратный осмос	0,0005 0,0001	$9,87 \cdot 10^{-6}$ $9,87 \cdot 10^{-5}$	$12 \cdot 10^5$ $70 \cdot 10^5$	50...85	Взвешенные вещества, микроорганизмы, органические растворенные вещества, 90...95 % растворенных неорганических веществ

затратам на ее производство.

Вода, предназначенная для орошения, должна содержать кальций, основные элементы питания растений и микроэлементы. 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.

На рисунке представлена принципиальная схема установки, с помощью которой можно готовить воду со сбалансированным ионным содержанием элементов. В таком варианте вода из водоисточника поступает на блок очистки от взвешенных примесей 1, после чего попадает на ультрафильтрационную мембрану 2, где происходит отделение ионов с большими гидратными оболочками (пестицидов, гербицидов и др.), которые попадают в блок химической очистки 5, куда может сбрасываться часть микроэлементов и тя-

желых металлов с мембраны 7, содержание которых в поливной воде избыточно для возделываемой культуры. После соответствующей подготовки воду из блока 5, можно использовать 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, может использоваться для питьевых нужд и орошения (путем смешения с водой, прошедшей через мембрану 7). Получаемый на мембране 4 рассол поступает в испарительный бассейн или подвергается утилизации.



Принципиальная блок-схема подготовки воды для орошения

На практике могут быть добавлены другие мембраны или изменены пути прохождения воды. 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 целесообразно рассматривать подготовку воды как комплексную производственную задачу обеспечения водой нужного качества нескольких потребителей 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, помогающих предотвращать эрозионные процессы, вторичное засоление, позволя-

ющих получать чистую растениеводческую продукцию.

1. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения / Министерство сельского хозяйства РФ. Отв. за подготовку доклада А. В. Петриков. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 100 с.

2. Методическое пособие и нормативные материалы для разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия / Под ред. А. Н. Каштанова, А. Л. Щербакова, Г. Н. Черкасова. – Курск-Тверь: ЧуДо, 2001. – 260 с.

3. Колодин М. В. Технико-экономические показатели водоохранных мероприятий по деминерализации дренажных вод / Пути повышения продуктивности мелиорируемых земель и снижения удельного водопотребления: сб. науч. трудов. – М.: ВО «Союзводпроект», 1990. – С. 138–151.

4. Максименко В. П., Кирсанов Е. А., Максименко П. В. Регулирование качества воды мембранными устройствами // Мелиорация и водное хозяйство. – 2001. – № 1. – С. 45–47.

5. Применение микрофльтрационных мембран с цилиндрическими порами для очистки природных вод / А. В. Десятков [и др.] // Водоочистка, водоподготовка, водопотребление. – 2008. – № 2. – С. 11–19.

6. Дытмерский Ю. И. Мембранные процессы разделения жидких смесей – М.: Химия, 1975. – 232 с.

7. Пригун И. В., Краснов М. С. Умягчение или нанофльтрация? Выбор за вами // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2009. – № 2. – С. 10–18.

Материал поступил в редакцию 16.05.11.

Максименко Владимир Пантелеевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом мелиорации земель, Тел. 8(499)153-63-80
Зайцев Сергей Александрович, аспирант Тел. 8(499)153-72-70
E-mail: contact@vniigim.ru