

**С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин, Е. И. Чушкина**

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Российская Федерация

## **ПЕРСПЕКТИВЫ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ОВОЩНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОЙ ВОДЫ И РАСТВОРОВ**

Целью исследований являлась оценка эффективности использования современных конструкций капельного орошения для полива овощных культур водой или растворами с электрохимически инициированными редокс-процессами. Методологической основой исследований стали результаты многолетней теоретической работы, концептуальные положения методики проектирования технических систем орошения электрохимически обработанной водой и растворами, основные положения методики экспериментальных исследований. В статье рассмотрены варианты конструкций капельного орошения, обеспечивающие контроль и подачу поливной воды с заданными параметрами рН и окислительно-восстановительного потенциала. Указывается, что введение в конструкцию технических систем капельного орошения проточного модуля электрохимической обработки требует, чтобы кроме известного условия равномерности водораспределения обеспечивался контроль динамики электрохимически инициированных редокс-процессов и сохранение электрохимических потенциалов в соответствии с агротехническими требованиями культуры. Приведен пример и результаты производственного расчета системы капельного орошения с модулем электрохимической обработки оросительной воды. Показана возможность согласования функциональных критериев системы на основе системного подхода к проектированию всех без исключения узлов системы капельного орошения. На примере культуры томатов защищенного грунта с использованием спроектированной по предложенной методике системы капельного орошения с модулем электрохимической обработки показана эффективность применения электрохимически обработанной воды для полива и фертигации. Установлено, что для получения наибольшей урожайности плодов томата (на уровне 133,1–146,5 т/га) с использованием электрохимически обработанной воды необходимо осуществлять как увлажнительные, так и удобрительные поливы, а уровень смещения окислительно-восстановительного потенциала на выходе из капельных водовыпусков должен быть не менее минус 500 мВ.

Ключевые слова: капельное орошение, электрохимическая обработка, конструкции, расчет, томаты, эффективность.

**S. Y. Semenenko, M. N. Lytov, A. N. Chushkin, E. I. Chushkina**

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

## **PROSPECTS OF DRIP IRRIGATION OF VEGETABLES WITH THE USE OF ELECTROCHEMICALLY TREATED WATER AND SOLUTIONS**

The aim of the research was to evaluate the effectiveness of the use of modern designs of drip irrigation for irrigation of vegetable crops with water or solutions with electrochemi-

cally initiated redox-processes. The methodological basis of the research was the results of many years of theoretical work, the conceptual provisions of the method of designing technical irrigation systems with electrochemically treated water and solutions, the main provisions of the method of experimental research. The options of drip irrigation structures that provide control and supply of irrigation water with the specified parameters of pH and redox potential are considered in the article. It is indicated that the introduction of the drip irrigation technical systems of the flow module of electrochemical processing into the structure requires the electrochemically initiated redox-processes dynamics control and the preservation of electrochemical potentials in accordance with agrotechnical requirements of the culture in addition to the known condition of water distribution uniformity. An example and the results of the production calculation of drip irrigation system with the mode of electrochemical treatment of irrigation water are given. The possibility of matching the functional criteria of the system on the basis of a systematic approach with the design of all points of the drip irrigation system without exception is shown. The effectiveness of electrochemically treated water both for irrigation and fertigation is shown by the example of tomatoes in protected ground using the drip irrigation system with the module of electrochemical treatment designed according to the proposed method. It was found that to obtain the highest yield of tomatoes (at the level of 133.1–146.5 ton per ha) using electrochemically treated water it is necessary to carry out both moistening and fertilizing irrigation and the level of displacement of the oxidation-reduction potential at the outlet of drip water spillways should be at least minus 500 mV.

Keywords: drip irrigation, electrochemical treatment, design, calculation, tomatoes, efficiency.

**Введение.** Современное капельное орошение – это многофункциональные технические системы, обеспечивающие помимо регулирования водного режима почвы возможность подачи непосредственно в прикорневую зону растений питательных растворов (фертигации) и средств системной защиты растений [1–6]. Наряду с этим работы по совершенствованию систем капельного орошения не прекращаются – сегодня уже можно уверенно говорить о перспективах оснащения конструкций техническими средствами мелкодисперсного дождевания (комбинированное орошение), средствами мониторинга и самодиагностики, системами автоматизированного управления орошением [7–11]. Особое внимание в процессе совершенствования систем капельного орошения привлекает возможность использования новых агрофизических эффектов, пока не освоенных зарубежными конкурентными сторонами. К таким агрофизическим эффектам относится возможность регулирования кислотно-основной реакции почвенной среды при поливе электрохимически обработанной оросительной водой.

Возможность регулирования реакции почвенной среды создает ре-

альные предпосылки для развития технологий комплексного управления множеством агробиологических процессов. Регулируя реакцию окружающей среды, можно увеличивать либо снижать проницаемость клеточных мембран для отдельных видов химических элементов, можно создавать условия для ингибирования развития и даже прерывания жизненных функций отдельных видов микробиоты, есть сведения о возможности запуска ферментативных процессов, сопровождающих деление клетки [12–17]. Целью настоящих исследований является количественная оценка результативности этих эффектов в плане регулирования продукционного процесса сельскохозяйственных культур, а также оценка эффективности использования для этих целей конструкций капельного орошения.

**Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели к изучению был поставлен круг важных вопросов, основным методом решения которых является полевой эксперимент. Среди наиболее важных задач исследований выделена необходимость оценки эффективных уровней изменения окислительно-восстановительного потенциала водных сред при поливе сельскохозяйственных культур капельным способом и необходимость оценки способов применения воды с измененным окислительно-восстановительным потенциалом при поливе сельскохозяйственных культур капельным способом.

В рамках теоретической проработки программы исследований рассматривалось, что изыскания по указанным направлениям могут проводиться в рамках отдельных опытов. Однако в этом случае необходима их последовательная реализация, когда наилучшие результаты одного опыта являются базисным условием проведения второго. Кроме того, не исключен и эффект взаимодействия факторов, который при проведении отдельных опытов не учитывается и может существенно исказить полученные результаты. Поэтому предпочтительной оказалась закладка двухфакторно-

го полевого опыта, в котором в рамках фактора А к изучению поставлены следующие варианты:

А1 – контроль с использованием водных сред, не прошедших электрохимическую обработку;

А2 – использование для полива водных сред с электрохимически измененным окислительно-восстановительным потенциалом, характеризующимся на выходе из капельного водовыпуска показателем минус 100 мВ;

А3 – использование для полива водных сред с электрохимически измененным окислительно-восстановительным потенциалом, характеризующимся на выходе из капельного водовыпуска показателем минус 500 мВ;

А4 – использование для полива водных сред с электрохимически измененным окислительно-восстановительным потенциалом, характеризующимся на выходе из капельного водовыпуска показателем +500 мВ;

А5 – использование для полива водных сред с электрохимически измененным окислительно-восстановительным потенциалом, характеризующимся на выходе из капельного водовыпуска показателем +800 мВ.

В рамках фактора В изучаются следующие варианты:

В1 – проведение увлажнительных (вегетационных) поливов природной электрохимически обработанной водой;

В2 – проведение удобрительных (фертигация) поливов растворами минеральных удобрений, приготовленными на основе природной электрохимически обработанной воды;

В3 – проведение увлажнительно-удобрительных поливов с поочередной подачей природной электрохимически обработанной воды и растворов минеральных удобрений, приготовленных на основе природной электрохимически обработанной воды.

Экспериментальная часть работы выполняется на базе ЛПХ «Толочко Ф. Ю.» и лаборатории ПНИИЭМТ – филиала ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии РАН». В статье использованы результаты опытов 2017 и 2018 гг.

по первому (весеннему) обороту томатов Пинк Парадайз F1. Варианты опыта были заложены в индивидуальных тепличных блоках. Тепличные блоки представлены облегченными конструкциями весенних пленочных теплиц с возможностью регулирования радиационного режима на основе использования современных нетканых укрытий. В основу конструкций капельного орошения на опытном участке была положена используемая в хозяйстве система. Оросительная сеть представлена магистральным трубопроводом диаметром 3 дюйма и протяженностью 40 м, непосредственно соединенным с распределительными трубопроводами поливных модулей. Поливной модуль спроектирован для орошения томатов в пределах одного тепличного блока и представляет собой совокупность четырех поливных трубопроводов длиной 50 м каждый, разложенных на расстоянии 1,4 м друг от друга, и распределительного трубопровода общей протяженностью 9 м. Диаметр поливного трубопровода 0,016 м, капельные водовыпуски расположены через 0,2 м, производительность каждой капельницы 2,6 л/ч. Капельницы некомпенсированного типа. Диаметр распределительного трубопровода 2 дюйма.

Общие методологические подходы, используемые при проведении исследований, сводятся к следующему:

- обобщение современных теоретических представлений в сфере технологий электрохимической обработки воды и водных растворов с целью программируемого улучшения их свойств за счет управления окислительно-восстановительным потенциалом;

- обобщение современных представлений в области применения электрохимически обработанной воды при возделывании сельскохозяйственных культур с оценкой возможности использования для этих целей систем капельного орошения;

- закладка полевого эксперимента, включая расчет и экспериментальную проверку возможности выполнения установленных программой

исследований условий дооборудованной системой капельного орошения.

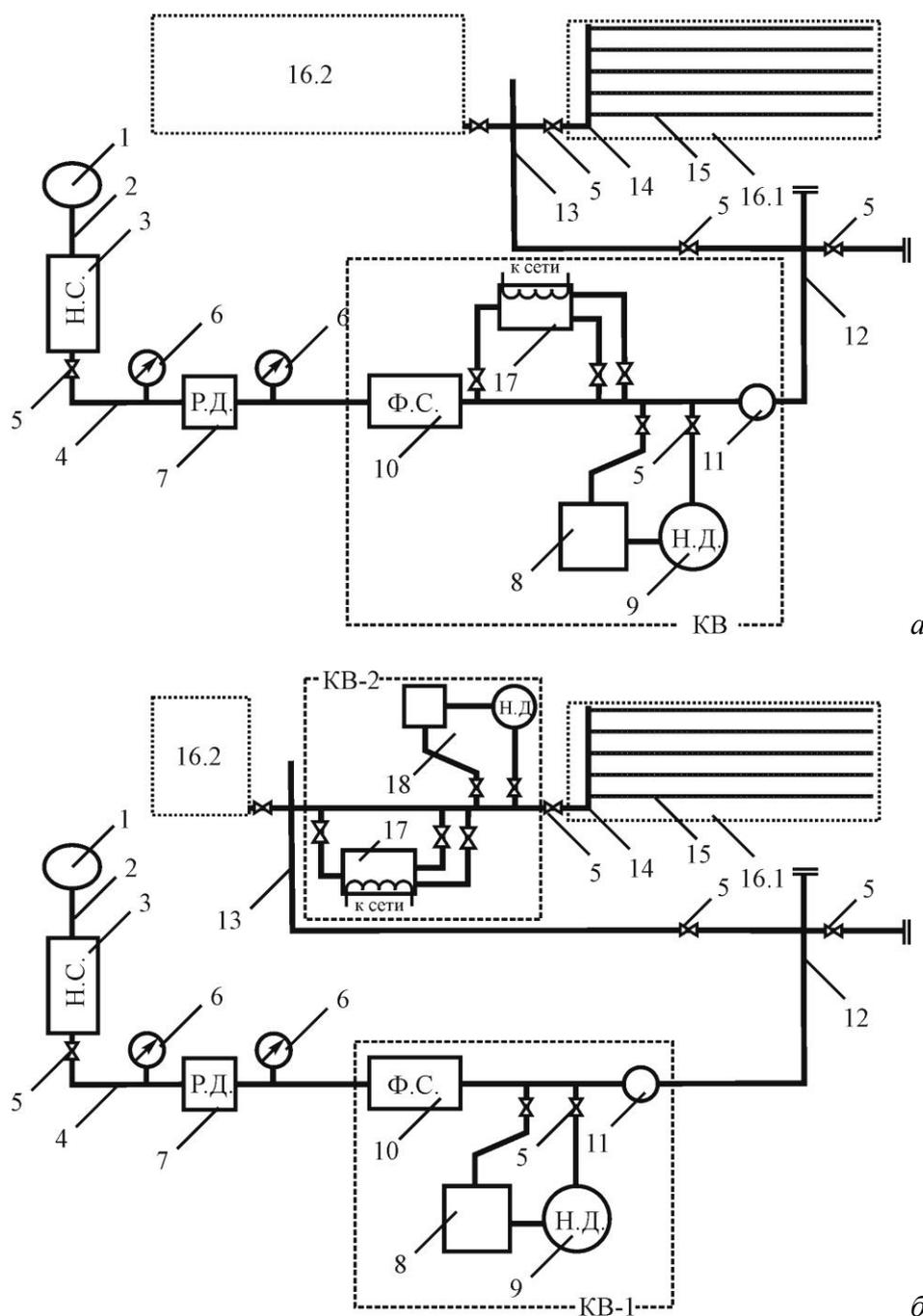
**Результаты и обсуждение.** В настоящее время разработаны теоретические подходы к созданию технических систем на основе сращивания систем капельного орошения и систем электрохимической обработки оросительной воды и приготовленных на ее основе растворов [18, 19]. Проблема создания таких систем состоит в необходимости адаптации методов проектирования с учетом дополнительных требований к выполнению новых технических функций. Известная методология проектирования технических систем стационарного орошения с территориально распределенной системой водовыпусков основана на классической методике гидравлического расчета. При этом параметры технической системы выбираются исходя из условия равномерного распределения оросительной воды по орошаемому участку. Введение в конструкцию технических систем стационарного орошения проточного модуля электрохимической обработки требует, чтобы кроме указанного условия равномерности водораспределения обеспечивался контроль сохранения электрохимических потенциалов в соответствии с агротехническими требованиями. При этом методологические подходы определяются не только введением нового ограничивающего параметра – критерия оптимального проектирования, но и тем, что динамика этого параметра противоположна факторам гидравлического сопротивления. Требование сохранения электрохимических потенциалов обработанных слабых растворов, по сути, является контрфактором стандартного гидравлического расчета. Динамика электрохимически инициированных редокс-процессов предполагает изменение свойств электрохимически обработанной воды или приготовленных на ее основе растворов с течением времени. Изменение свойств электрохимически обработанной оросительной воды ограничено агротехническими требованиями, а следовательно, ограничено и время ее перемещения от установки для электрохимической обработки к водовыпускам техниче-

ской системы капельного орошения. Гидравлические потери напора, напротив, возрастают с увеличением скорости течения жидкостей. Это противоречие, собственно, и является определяющим при выборе методологических подходов к проведению исследований.

В плане конструкции предлагаемая техническая система отличается от классических систем капельного орошения наличием установки для электрохимической обработки воды. С точки зрения компоновки системы установка для электрохимической обработки воды входит в состав комплекса водоподготовки. Собственно, сам комплекс водоподготовки в этом случае выполняется по многоступенчатой схеме, каждая из ступеней выполняет специализированную функцию водоподготовки.

По конструктивному исполнению сегодня рассматриваются варианты с территориально объединенной и территориально разнесенной схемой водоподготовки (рисунок 1). В первом случае (рисунок 1, *a*) установка для электрохимической обработки воды территориально объединена с классическим комплексом водоподготовки, включающим фильтры грубой и тонкой очистки воды, а также установки для подготовки и введения в систему растворов различных агрохимикатов. Установка для электрохимической обработки воды в этом случае размещается между конструкциями системы водоочистки и конструкциями агрохимической водоподготовки. При этом электрохимической обработке подвергается природная оросительная вода, а растворы минеральных удобрений и других агрохимикатов готовятся уже на основе электрохимически обработанной воды.

При размещении установки для электрохимической обработки оросительной воды после узла введения агрохимикатов существенно сужается спектр возможного применения химических соединений. Это обусловлено опасностью образования высокореагентных соединений в результате электролиза подготовленного раствора.



*а* – конструкция системы с территориально объединенной схемой водоподготовки;  
*б* – конструкция системы с территориально разнесенной схемой водоподготовки;  
 1 – водоисточник; 2 – всасывающая линия; 3 – насосная станция; 4 – напорная линия; 5 – запорный вентиль; 6 – манометр; 7 – регулятор давления; 8 – емкость для приготовления питательного раствора; 9 – насос-дозатор; 10 – фильтростанция;  
 11 – счетчик-водомер; 12 – магистральный трубопровод; 13 – распределитель 1-го порядка; 14 – распределитель последнего порядка; 15 – поливной трубопровод с капельницами; 16.1, 16.2 – поливные модули системы капельного орошения; 17 – модуль электрохимической обработки воды; 18 – дополнительный модуль приготовления питательного раствора

**Рисунок 1 – Система капельного орошения с модулем электрохимической обработки оросительной воды**

Во втором из рассматриваемых случаев установка для электрохимической обработки оросительной воды территориально удалена от конструкций водоочистки и интегрирована в систему непосредственно перед орошаемым участком (рисунок 1, б). Такая схема компоновки имеет ряд преимуществ перед централизованной, в т. ч.:

- реализуется возможность проведения одновременного полива различных участков природной и электрохимически обработанной оросительной водой. В данном случае электрохимической обработке может подвергаться вода, непосредственно подаваемая на участок, перед которым монтируется установка. При этом одновременно может проводиться полив и на других участках, обслуживаемых системой капельного орошения, в т. ч. без электрохимической обработки оросительной воды;

- резко сокращаются конструктивные размеры установки для электрохимической обработки воды, снижается стоимость изготовления и обслуживания модуля;

- может использоваться на системах с удаленной системой централизованной водоподдачи и водоподготовки. Как правило, это касается систем с площадью обслуживания более 5 га. Размещение установки для электрохимической обработки воды централизованно в этом случае сопровождается дополнительными потерями электрохимического потенциала, в результате чего либо не выполняются агротехнические требования, либо существенно возрастают энергозатраты на обработку воды с учетом потерь электрохимического потенциала по трассе. В ряде случаев только такая схема компоновки системы обеспечивает выполнение агротехнических требований.

К недостаткам такой схемы компоновки системы следует отнести:

- необходимость размещения отдельной установки для электрохимической обработки воды у каждого оборудованного орошаемого участка. Существенно возрастает потребность в данной конструктивной единице;

- необходимость создания разветвленной системы энергообеспечения с подводом энергоисточников к каждой из размещенных установок для электрохимической обработки оросительной воды;

- необходимость размещения после каждой из установок для электрохимической обработки воды конструкций для введения в систему агрохимикатов (технических средств фертигации). Только в этом случае реализуется возможность проведения поливов электрохимически обработанными растворами применяемых агрохимикатов.

Расчет конструктивных параметров системы независимо от схемы компоновки ведется на основе компромиссного согласования динамики электрохимически инициированных редокс-процессов и гидравлических потерь напора оросительной воды в следующей последовательности:

- верифицируются значения допустимых потерь напора и изменения потенциала электрохимически обработанной оросительной воды. Основанием для определения указанных значений являются установленные требования к равномерности вылива капельниц по площади орошаемого участка, а также агротехнические требования к характеристикам используемой для полива воды;

- устанавливаются расчетные значения потерь напора с учетом принятых конструктивных параметров системы капельного орошения;

- определяются прогнозные значения изменения потенциала электрохимически обработанной оросительной воды или приготовленных на ее основе растворов. Для определения расчетных пар значений по гидравлическим потерям напора и изменению потенциала электрохимически обработанной оросительной воды авторами разработаны и апробированы компьютерные модели;

- выполняется алгоритм компромиссного согласования, который заключается в подборе конструктивных параметров системы капельного орошения, обеспечивающих изменение гидравлических потерь напора и

потенциала электрохимически обработанной воды в допустимых пределах.

На опытном участке конструкция системы капельного орошения исполнена в варианте с пространственно-разнесенным модулем водоподготовки. Расчет системы по предложенным моделям с использованием известных конструктивных параметров поливного модуля показал, что падение окислительно-восстановительного потенциала анолита не превышает 6,7 мВ, католита – 8,7 мВ, а потери напора в пределах поливного модуля составляют 1,62 м (таблица 1). С учетом напорно-расходных характеристик используемых капельниц такой перепад напоров обеспечивает заданную (более 95 %) равномерность вылива в пределах поливного модуля, а падение потенциала электрохимически обработанной воды находится в допустимых для культуры пределах.

**Таблица 1 – Результаты расчета системы капельного орошения с модулем электрохимической обработки оросительной воды в ЛПХ «Толочко Ф. Ю.»**

Показатель	Значение
1	2
Параметры установки для электрохимической обработки	
1 Внутренний диаметр полой катодной камеры	0,044 м
2 Длина катодной и анодной камер	1,0 м
3 Диаметр анодной камеры	0,024 м
Результаты компромиссного согласования параметров поливного модуля	
4 Модуль изменения окислительно-восстановительного потенциала анолита (ОВПА)	6,7 мВ
5 Условие $ОВПА < 30$ мВ выполняется?	Да
6 Модуль изменения окислительно-восстановительного потенциала католита (ОВПК)	8,7 мВ
7 Условие $ОВПК < 30$ мВ выполняется?	Да
8 Потери напора ( $H_{ПМ}$ )	1,62 м
9 Условие $H < 2,6$ м выполняется?	Да
Проверка работоспособности системы с имеющимися мощностями насосного оборудования	
10 Геодезический подъем с учетом глубины скважины и рельефа местности ( $H_{Г}$ )	9 м
11 Потери напора в узле водоподготовки ( $H_1$ )	1,2 м
12 Потери напора в магистральном трубопроводе ( $H_2$ )	1,1 м
13 Потери напора в подводящей части распределительного трубопровода ( $H_{Р-1}$ )	0,21 м
14 Потери напора в узле электрохимической активации оросительной воды ( $H_{ЭХО}$ )	3 м

Продолжение таблицы 1

1	2
15 Потери напора в поливном модуле ( $H_{ПМ}$ )	1,62 м
16 Суммарные потери напора $H_{ПМ} = H_{Г} + H_1 + H_2 + H_{P-1} + H_{ЭХО} + H_{ПМ}$	16,3 м
17 Минимальное рабочее давление капельниц	7 м
18 Минимальное потребное давление на насосе ( $H_{min}$ ) (16 + 17)	23,3 м
19 Номинальное давление на насосе ( $H_{НАС.}$ )	40 м
20 Условие $H_{min} < H_{НАС.}$ выполняется?	Да
21 Максимальное рабочее давление капельниц	30 м
22 Максимальное давление на насосе ( $H_{max}$ ) (16 + 21)	46,3 м
23 Условие $H_{max} > H_{НАС.}$ выполняется?	Да
24 Номинальное рабочее давление капельниц	20–25 м
25 Номинальное потребное давление на насосе ( $H_n$ ) (16 + 24)	36,3–41,3 м
26 Условие $H_n = H_{НАС.}$ выполняется?	Да

Использование электрохимически обработанной воды и приготовленных на ее основе растворов минеральных удобрений сопровождалось существенной (статистически доказанной) вариабельностью продуктивности томатов (таблица 2). Исследования показали, что применение электрохимически обработанной воды для полива обеспечивает возможность повышения общей биопродуктивности посевов и увеличения выхода товарных плодов. Вместе с тем приведенные в таблице данные свидетельствуют о необходимости обеспечения строго определенных параметров начального сдвига окислительно-восстановительного потенциала, как применительно к природной оросительной воде, так и применительно к приготовленным на ее основе растворам.

**Таблица 2 – Урожайность томатов в опытных посевах**

Фактор А (электрохимически инициированное смещение окислительно-восстановительного потенциала)	Фактор В (способ применения электрохимически обработанной воды)	Урожайность, т/га			Выход товарных плодов, %
		2017 г.	2018 г.	Средняя	
1	2	3	4	5	6
A1	B1-B3	103,8	114,8	109,3	89,4
A2	B1	109,3	118,1	113,7	89,6
A2	B2	110,0	120,4	115,2	89,3
A2	B3	113,9	122,7	118,3	89,7
A3	B1	126,9	134,5	130,7	92,1
A3	B2	129,8	136,4	133,1	92,1
A3	B3	133,1	146,5	139,8	94,5
A4	B1	107,4	115,2	111,3	91,2

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
A4	B2	103,9	114,5	109,2	89,9
A4	B3	107,1	114,3	110,7	92,4
A5	B1	115,7	126,3	121,0	93,7
A5	B2	104,5	110,1	107,3	90,1
A5	B3	109,5	118,7	114,1	95,6
НСР <sub>05</sub>	фактор А	2,52	3,38	3,11	
	фактор В	1,95	2,62	2,41	
	для частных средних	4,36	5,86	5,39	

Использование высокотехнологичных сооружений защищенного грунта с комплексным регулированием микроклимата на основе пленочных укрытий и современных нетканых укрывных материалов в опытах обеспечивало получение 103,8–114,8 т/га урожая товарных плодов томата. В среднем за годы исследований урожайность томатов в контрольном варианте (без применения электрохимически обработанной воды) составила 109,3 т/га. Полив электрохимически обработанной водой, даже с небольшим (до минус 100 мВ) смещением окислительно-восстановительного потенциала в область отрицательных потенциалов (избыток электронов), обеспечивал статистически достоверную прибавку урожая на уровне 4,4–9,0 т/га.

Усиление электрон-дефицитного состояния природной оросительной воды на участках, где в результате электрохимической обработки окислительно-восстановительный потенциал поливной воды был увеличен до +500 мВ, не обеспечило достоверного изменения продуктивности посевов. В среднем за годы исследований урожайность томатов здесь изменялась на величину –0,1...+2,0 т/га, что сопоставимо с ошибкой эксперимента.

Увеличение электрохимически инициированного смещения окислительно-восстановительного потенциала оросительной воды до +800 мВ в опыте обеспечило повышение урожайности до 114,1–121,0 т/га на участках, где обработанная вода использовалась для проведения увлажнительных поливов или в увлажнительных и удобрительных поливах. При этом на участках, где электрохимически обработанная вода использовалась только для удобрительных поливов, урожайность томатов, напротив, снижалась

(в среднем на 2,0 т/га). Следует также отметить, что совокупное использование электрохимически обработанной воды с окислительно-восстановительным потенциалом +800 мВ для проведения увлажнительных и удобрительных поливов было также менее эффективно, чем при использовании только для проведения увлажнительных поливов: урожай товарных плодов снижался в среднем на 6,9 т/га. В то же время этот вариант обеспечивал наибольший выход высококачественных товарных плодов (до 95,6 %).

Использование для полива оросительной воды с электрохимически смещенным до минус 500 мВ окислительно-восстановительным потенциалом оказалось в опыте наиболее эффективным в плане максимизации биопродуктивности посевов и показало хорошие результаты по выходу товарных плодов томата. Урожайность томатов на участках этого варианта возрастала до 130,7–139,8 т/га при выходе товарной продукции не менее 92,1–94,5 %. В сравнении с контролем урожайность томатов увеличивалась на 21,4–30,5 т/га. В отличие от вариантов с применением анолита, проведение удобрительных поливов на основе католита с показателем минус 500 мВ оказалось эффективным: в сравнении с участками, где с применением электрохимически обработанной воды проводили только увлажнительные поливы, урожайность томатов выросла на 2,4 т/га. Однако наиболее эффективным оказалось применение электрохимически обработанной воды для проведения увлажнительно-удобрительных поливов. Урожайность томатов при этом достигала наибольших из полученных в опыте значений (133,1–146,5 т/га).

**Выводы.** Современные технологии и технические средства капельного орошения с расширенным модулем водоподготовки обеспечивают возможность полива широкого спектра сельскохозяйственных культур с использованием оросительной воды с электрохимически смещенным окислительно-восстановительным потенциалом. Одним из ключевых требований к конструкциям систем капельного орошения с модулем электро-

химической водоподготовки является уверенная доставка электрохимически обработанной поливной воды непосредственно в прикорневую зону растений с точно заданными параметрами сдвига окислительно-восстановительного потенциала. Орошение электрохимически обработанной водой или приготовленными на ее основе растворами минеральных удобрений позволяет существенно повышать общую биопродуктивность посева и выход товарных плодов томата. Для получения наибольшей урожайности плодов томата (на уровне 133,1–146,5 т/га) с использованием электрохимически обработанной воды необходимо осуществлять как увлажнительные, так и удобрительные поливы, а уровень смещения окислительно-восстановительного потенциала на выходе из капельных водовыпусков должен быть не менее минус 500 мВ.

#### **Список использованных источников**

- 1 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 200 с.
- 2 Ясонида, О. Е. Капельное орошение в защищенном грунте / О. Е. Ясонида, Е. О. Ясонида. – Новочеркасск: НГМА, 2012. – 188 с.
- 3 Дубенок, Н. Н. Минеральное питание – важный резерв повышения продуктивности посевов моркови при орошении / Н. Н. Дубенок, В. В. Бородычев, А. А. Мартынова // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 7. – С. 24–27.
- 4 Пронько, Н. А. Способ повышения эффективности капельного полива овощей в Нижнем Поволжье / Н. А. Пронько, Е. И. Бикбулатов, Ю. А. Новикова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 27–30.
- 5 Jayakumar, M. Drip fertigation program on growth, crop productivity, water, and fertilizer-use efficiency of BT cotton in semi-arid tropical region of India / M. Jayakumar, U. Surendran, P. Manickasundaram // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2015. – Vol. 46, № 3. – P. 293–304.
- 6 Пындак, В. И. Нетрадиционные комплексные удобрения при возделывании картофеля при капельном орошении / В. И. Пындак, Е. Ф. Помогаев, Ю. А. Стёпкина // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 3. – С. 29–30.
- 7 Комбинированное орошение сельскохозяйственных культур / А. С. Овчинников, В. В. Бородычев, М. Ю. Храбров, В. М. Гуренко, А. В. Майер // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 2(38). – С. 6–13.
- 8 Калашников, А. А. Технология и технические средства комбинированного дождевально-капельного орошения / А. А. Калашников, В. А. Жарков, Е. В. Ангольд // Наука и Мир. – 2014. – Т. 1, № 11(15). – С. 63–65.
- 9 Zhang, H. Management of postharvest deficit irrigation of peach trees using infrared canopy temperature / H. Zhang, D. Wang // Vadose Zone Journal. – 2013. – Vol. 12, № 3. – P. 157–163.
- 10 Макартичан, С. В. Автоматическая система капельного орошения с дистан-

ционном управлении / С. В. Макартичян, А. Н. Филиппов, С. В. Ляпичев // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2016. – № 3(15). – С. 41–45.

11 Автоматизация принятия решений при орошении / В. П. Якушев, Л. В. Козырева, Ю. Р. Ситдикова, А. В. Доброхотов, А. Е. Ефимов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 5. – С. 8–10.

12 Влияние католита на росторегулирующую способность гумата калия при некорневой обработке озимой пшеницы / Э. А. Александрова, Г. А. Шрамко, Т. В. Князева, Я. С. Черных // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 1, № 38. – С. 113–117.

13 Богуславская, Н. В. Получение и исследование влияния электрохимически активированной воды на прорастание семян озимой пшеницы / Н. В. Богуславская // Экологическая безопасность в АПК. – 2006. – № 4. – С. 904.

14 Белицкая, М. Н. К вопросу о регулировании фитосанитарной ситуации в агроценозах / М. Н. Белицкая // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2004. – № 88. – С. 8–12.

15 Пасько, О. А. Рост и развитие растений, стимулированных электрохимически активированной водой / О. А. Пасько // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2010. – № 3. – С. 54–59.

16 Husson, O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy / O. Husson // Plant and Soil. – 2013. – Vol. 362, № 1–2. – P. 389–417.

17 Kitasato, H. Membrane potential genesis in Nitella cells, mitochondria, and thylakoids / H. Kitasato // Journal of Plant Research. – 2003. – Vol. 116, № 5. – P. 401–418.

18 Абезин, В. Г. Система капельного орошения с модулем электроактивации оросительной воды / В. Г. Абезин, В. В. Карпунин // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 6. – С. 23–25.

19 Алгоритм расчета систем капельного орошения с модулем электрохимической активации оросительной воды / С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин, Е. И. Чушкина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 4(28). – С. 20–36. – Режим доступа: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec508-field6.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec508-field6.pdf).

## References

1 Vasil'ev S.M., Korzhova T.V., Shkura V.N., 2017. *Tekhnicheskie sredstva kapel'nogo orosheniya* [Technical Means of Drip Irrigation]. Novocherkassk, RosNIIPM, 200 p. (In Russian).

2 Yasonidi O.E., Yasonidi Ye.O., 2012. *Kapel'noe oroshenie v zashchishchennom grunte* [Drip Irrigation in Protected Ground]. Novocherkassk, NGMA, 188 p. (In Russian).

3 Dubenok N.N., Borodychov V.V., Martynova A.A., 2010. *Mineral'noe pitanie – vazhnyy rezerv povysheniya produktivnosti posevov morkovi pri oroshenii* [Mineral nutrition as an important reserve for increasing the productivity of carrot crops under irrigation]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements in Science and Technology of Agroindustrial Complex], no. 7, pp. 24–27. (In Russian).

4 Pron'ko N.A., Bikbulatov Ye.I., Novikova Yu.A., 2015. *Sposob povysheniya effektivnosti kapel'nogo poliva ovoshchey v Nizhnem Povolzh'e* [A way to increase the efficiency of drip irrigation in Nizhnie Povolzhie]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 3, pp. 27–30. (In Russian).

5 Jayakumar M., Surendran U., Manickasundaram P., 2015. Drip fertigation program on growth, crop productivity, water, and fertilizer-use efficiency of BT cotton in semi-arid tropical region of India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 46, no. 3, pp. 293–304. (In English).

6 Pyndak V.I., Pomogayev E.F., Stopkina Yu.A., 2010. *Netraditsionnye kompleksnye udobreniya pri vozdeleyanii kartofelya pri kapel'nom orosenii* [Non-traditional complex fertilizers in the cultivation of potatoes during drip irrigation]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 3, pp. 29-30. (In Russian).

7 Ovchinnikov A.S., Borodychov V.V., Khrabrov M.Yu., Gurenko V.M., Mayyer A. V., 2015. *Kombinirovannoe orosenie sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Combined irrigation of agricultural crops]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. Of Nizhne-Volzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], no. 2(38), pp. 6-13. (In Russian).

8 Kalashnikov A.A., Zharkov V.A., Angol'd E.V., 2014. *Tekhnologiya i tekhnicheskie sredstva kombinirovannogo dozhdeval'no-kapel'nogo oroseniya* [Technology and technical resources of combined sprinkler and drip irrigation]. *Nauka i Mir* [Science and World], t. 1, no. 11(15), pp. 63-65. (In Russian).

9 Zhang H., Wang D., 2013. Management of postharvest deficit irrigation of peach trees using infrared canopy temperature. *Vadose Zone Journal*, vol. 12, № 3, pp. 157-163. (In English).

10 Makartichyan S.V., Filippov A.N., Lyapichev S.V., 2016. *Avtomaticheskaya sistema kapel'nogo oroseniya s distantsionnym upravleniem* [Automatic drip irrigation system with remote control]. *Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport* [Energy and Resource Saving: Industry and Transport], no. 3(15), pp. 41-45. (In Russian).

11 Yakushev V.P., Kozyreva L.V., Sitdikova Yu.R., Dobrokhotoy A.V., Yefimov A.Y., 2015. *Avtomatizatsiya prinyatiya resheniy pri orosenii* [Automation of decision making in irrigation]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bull. of Russian Agricultural Science], no. 5, pp. 8-10. (In Russian).

12 Aleksandrova E.A., Shramko G.A., Knyazeva T.V., Chernykh Ya.S., 2012. *Vliyaniye katolyta na rostoreguliruyushchuyu sposobnost' gumata kaliya pri nekornevoy obrabotke ozimoy pshenitsy* [The effect of catholyte on the potassium humate growth regulating ability in non-root winter wheat processing]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of Kuban State Agrarian University], vol. 1, no. 38, pp. 113-117. (In Russian).

13 Boguslavskaya N.V., 2006. *Poluchenie i issledovanie vliyaniya elektrokhimicheski aktivirovannoy vody na prorastaniye semyan ozimoy pshenitsy* [Obtaining and investigation of the effect of electrochemically activated water on the germination of winter wheat seeds]. *Ekologicheskaya bezopasnost' v APK* [Ecological Safety in Agroindustrial Complex], no. 4, 904 p. (In Russian).

14 Belitskaya M.N., 2004. *K voprosu o regulirovaniy fitosanitarnoy situatsii v agrotsenozakh* [On regulation of phytosanitary situation in agrocenoses]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Yestestvennyye nauki* [Bull. of Higher Institutions. North-Caucasian region. Series: Natural Sciences], no S8, pp. 8-12. (In Russian).

15 Pas'ko O.A., 2010. *Rost i razvitiye rasteniy, stimulirovannykh elektrokhimicheski aktivirovannoy vodoy* [Growth and development of plants stimulated by electrochemically activated water]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova* [Bull. of Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov], no. 3, pp. 54-59. (In Russian).

16 Husson O., 2013. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/micro-organism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant and Soil*, vol. 362, no. 1-2, pp. 389-417. (In English).

17 Kitasato H., 2003. Membrane potential genesis in Nitella cells, mitochondria, and thylakoids. *Journal of Plant Research*, vol. 116, no. 5, pp. 401-418. (In English).

18 Abezin V.G., Karpunin V.V., 2007. *Sistema kapel'nogo oroseniya s modulem elektroaktivatsii orositel'noy vody* [Drip irrigation system with the module of electric activation

of irrigation water]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of Agroindustrial Complex], no. 6, pp. 23-25. (In Russian).

19 Semenenko S.Ya., Lytov M.N., Chushkin A.N., Chushkina Ye.I., 2017. *Algoritm rascheta sistem kapel'nogo orosheniya s modulem elektrokhimicheskoy aktivatsii orositel'noy vody* [Algorithm for calculating drip irrigation systems with the module for electrochemical activation of irrigation water]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 4(28), pp. 20-36, available: [http://rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec508-field6.pdf](http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec508-field6.pdf). (In Russian).

---

**Семенов Сергей Яковлевич**

Ученая степень: доктор сельскохозяйственных наук

Ученое звание: профессор

Должность: директор

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский проспект, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: [pniemt@yandex.ru](mailto:pniemt@yandex.ru)

**Semenenko Sergey Yakovlevich**

Degree: Doctor of Agricultural Sciences

Title: Professor

Position: Director

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

Affiliation address: Universitetskiy ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: [pniemt@yandex.ru](mailto:pniemt@yandex.ru)

**Лытов Михаил Николаевич**

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Ученое звание: доцент

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский проспект, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: [LytovMN@yandex.ru](mailto:LytovMN@yandex.ru)

**Lytov Mikhail Nikolayevich**

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Title: Associate Professor

Position: Senior Researcher

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

Affiliation address: Universitetskiy ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: [LytovMN@yandex.ru](mailto:LytovMN@yandex.ru)

**Чушкин Алексей Николаевич**

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский проспект, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru

**Chushkin Aleksey Nikolayevich**

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

Affiliation address: Universitetskiy ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru

**Чушкина Елена Ивановна**

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

Адрес организации: Университетский проспект, 97, г. Волгоград, Российская Федерация, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru

**Chushkina Yelena Ivanovna**

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

Affiliation address: Universitetskiy ave., 97, Volgograd, Russian Federation, 400062

E-mail: pniiemt@yandex.ru