

На правах рукописи



**Чушкнина Елена Ивановна**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ  
ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ ТОМАТОВ**

**06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук**

15 ЯНВ 2015



**005557268**

**Волгоград-2014**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий»

- Научный руководитель:** доктор сельскохозяйственных наук, доцент  
**Семененко Сергей Яковлевич**
- Официальные оппоненты:** **Курбанов Серажутдин Аминович**,  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор, ФГБОУ ВПО «Дагестанский государствен-  
ный аграрный университет имени М.М.  
Джамбулатова», заведующий кафедрой земледелия,  
почвоведения и мелиорации
- Гуренко Владимир Михайлович**,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
Волгоградский филиал ФГБНУ  
«Всероссийский научно-исследовательский  
институт гидротехники и мелиорации имени А.Н.  
Костякова», старший научный сотрудник
- Ведущая организация:** ФГБНУ «Всероссийский научно-  
исследовательский институт орошаемого  
овощеводства и бахчеводства»

Защита состоится «30» января 2015 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.008.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Волгоградский государственный аграрный университет» по адресу: 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26 ауд. 303д.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет» и на сайте [www.volgau.com](http://www.volgau.com)

Автореферат разослан «9» января 2014 года и размещен на сайте Волгоградского государственного аграрного университета ([volgau.com](http://volgau.com)) «26» ноября 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.т.н., доцент

**Бочарников Виктор Сергеевич**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность и степень разработанности темы исследований.** Актуальность работы определяется необходимостью разработки и внедрения новых, эффективных технологий орошения овощных культур, обеспечивающих возможность совокупного роста продуктивности и качества продукции с соблюдением принципов ресурсосбережения и требований экологической безопасности производства. Одним из перспективных путей развития сельскохозяйственной науки в этом направлении является использование феномена электрохимической активации для программируемого изменения свойств оросительной воды и расширения возможностей управления развитием агроценоза при орошении. Возможность выполнения данной работы обеспечили результаты исследований В.И. Прилуцкого, В.М. Бахира (1995-2010); М.Н. Белицкой (2004-2013); И.М. Осадченко, В.Н. Чурзина, О.В. Харченко (2007-2010) и ряда других ученых, которыми были разработаны основы технологии непропорционального (и разнонаправленного) изменения окислительно-восстановительного потенциала и pH оросительной воды в широком диапазоне с последующим использованием приобретенных свойств для подавления патогенной микрофлоры, активации обменных процессов и стимуляции роста растений. Другой отправной точкой наших исследований стало изобретение способа сохранения свойств активированной среды за счет использования закрытой системы подачи воды с капельным орошением. Выбранное нами направление исследований обусловлено отсутствием научно-обоснованной технологии применения электрохимически активированной воды с капельным орошением овощных культур, спецификой дифференцированного подхода к изучению ростостимулирующего эффекта для разных видов культурных растений, необходимостью оценки и выявления закономерностей поведения комплекса критериев, характеризующих продукционный процесс, распространение болезней томата и ресурсосбережение при разных способах и режимах использования электрохимически активированной воды. Учитывая народно-хозяйственную значимость и распространение культуры в регионе Нижней Волги, было принято решение проводить исследования на рассадных томатах.

**Цель исследований** – разработать технологию применения электрохимически активированной воды, обеспечивающей при капельном орошении томатов решение задач ресурсосбережения, экологической безопасности производства, повышения продуктивности и качества плодов.

#### Задачи исследований:

- установить закономерности водопотребления и формирования водного режима почвы при капельном орошении томата с оценкой режимов использования электрохимически активированной воды;
- исследовать возможности водосбережения при капельном орошении томата с использованием электрохимически активированной воды;
- изучить особенности формирования урожая и качества плодов томата при использовании электрохимически активированной оросительной воды с капельным орошением;
- оценить фитосанитарное состояние и изучить возможности снижения пестицидной нагрузки при капельном орошении томатов с использованием электрохимически активированной воды;
- провести количественный анализ и выявить наиболее эффективные сочетания элементов технологии применения электрохимически активированной воды при орошении томатов капельным способом.

**Научная новизна:** обоснованы параметры применения электрохимически активированной воды при капельном орошении томата в зоне сухих степей Нижнего Поволжья; установлены особенности водопотребления и орошения, изучены закономерности распространения и развития болезней, продукционного процесса и формирования биохимического состава плодов томата при использовании электрохимически активированной воды с капельным поливом.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Результаты исследований содержат теоретическое обоснование целесообразности использования способа электрохимической активации оросительной воды для активизации продукционного процесса и подавления болезней овощных культур; установлены закономерности водопотребления томатов при использовании электрохимически активированной воды, определены параметры связи продукционного процесса томата и режима электрохимической активации оросительной воды. Практическая значимость работы состоит в обосновании параметров и разработке технологии применения электрохимически активированной оросительной воды с капельным орошением томатов, обеспечивающей возможность снижения пестицидной нагрузки, рациональное расходование ресурсов,

улучшение структуры урожая и качества плодов томата с формированием урожайности на уровне 100 т/га.

**Методы исследований.** Теоретическая проработка накопленного научного и практического опыта использования электрохимически активированной воды позволила обосновать направление, сформулировать задачи и явилась методологической основой разработки программы экспериментальных исследований. Применение метода факторного полевого эксперимента обеспечило решение вопросов исследований и позволило провести натурное обоснование параметров применения электрохимически активированной воды с капельным орошением томатов. Планирование опыта, учеты, наблюдения, биометрические, агрохимические и биохимические исследования, статистический анализ опытных данных проводили с учетом требований общепринятых методик (Б.А. Доспехов, С.С. Литвинов и др.).

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- закономерности водопотребления томата с оценкой режимов использования электрохимически активированной воды;
- закономерности формирования урожая и качества плодов томата при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды;
- особенности распространения и развития болезней томата при капельном орошении с электрохимической активацией оросительной воды;
- технология применения электрохимически активированной воды при капельном орошении томатов.

**Достоверность** результатов исследований подтверждается использованием общепринятых методик при планировании и разработке программы эксперимента, проведении наблюдений, учетов, анализов, сильными корреляционными связями для найденных регрессионных зависимостей, получением результатов, согласующихся с общими представлениями в данной области сельскохозяйственной науки. Результаты внедрения предложенной технологии капельного орошения томатов с использованием электрохимически активированной воды в КФХ «Фокин С.И.» на площади 2 га показали возможность получения до 100 т/га высококачественной, выровненной продукции с себестоимостью в пределах 1,92 руб./кг.

**Апробация работы.** Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались на международных научно-практических конференциях

«Актуальные вопросы природопользования в аридной зоне Северного Прикаспия» (ГНУ ПНИИАЗ, 2012) «Современные агротехнологии-2012» (ГНУ Новгородский НИИ сельского хозяйства, 2012), «Теоретическое и практическое развитие науки в современных социально-экономических условиях» (ГНУ ПНИИАЗ, 2013) «Интеграция науки и производства – стратегия успешного развития АПК в условиях вступления России в ВТО» (ВолГАУ, 2013), «Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии» (ГНУ ВНИИА, 2014), «Научные и технологические подходы в развитии аграрной науки» (ГНУ ПНИИАЗ, 2014).

**Публикации.** По результатам исследований, изложенных в диссертационной работе, опубликовано 11 работ, в том числе 6 - в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, получено 2 патента РФ на изобретения.

**Структура и объем работы.** Структура диссертации представлена введением, 6 главами, заключением, включая сформулированные выводы и предложения производству, списком использованной литературы и приложениями. Объем работы - 232 страницы, в том числе основного текста 139 страниц. Работа содержит 36 таблиц, 9 рисунков, 53 приложения. Список использованной литературы включает 169 источников, в том числе 6 иностранных авторов.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** «Агrobiологические и технологические проблемы применения электрохимически активированных водных сред при капельном орошении томатов» приведены результаты исследования научного и практического опыта использования электрохимически активированных водных сред в сельскохозяйственном производстве, выполнена оценка изученности вопросов и перспектив применения электрохимической активации при орошении овощных культур, в частности, томатов.

Изучение материалов исследований А.С. Овчинникова, И.И. Азарьевой (2010-2014); Ю.В. Кузнецова (2006-2011); Ю.И. Кружилина (2001); М.С. Григорова (2008-2014); К.Ю. Кружилина (2008); В.В. Бородычева (2010); А.В. Дементьева (2005); В.П. Зволинского (2012); В.И. Филина (2011); В.М. Гуренко (2008) и др. показала, что реализация интенсивных технологий возделывания томата в регионе Нижней Волги связана с необходимостью вовлечения в производство большого объема ресурсов и рядом нерешенных задач, в частности: задачи повышения эффективности использования ресурсов, проблемой повышения качества и экологической безопасности производимой

продукции, снижения экологических нагрузок на орошаемые земли. Результаты исследований В.И. Прилуцкого (1995); А.Ф. Кожокару (2008); И.М. Осадченко, В.Н. Чурзина, О.В. Харченко (2007-2010); М.Н. Белицкой (2004-2013); О.А. Пасько (2010-2012); А.В. Брыкалова (2004); Н.В. Богуславской (2006); Г.А. Шрамко, Э.А. Александровой (2012); Г.А. Плутахина (2013), убедительно доказывают возможность использования уникальных свойств электрохимически активированных сред в сельскохозяйственном производстве, по крайней мере, в двух направлениях: для «санации» и фитоздоровления посевов сельскохозяйственных культур; для «стимуляции» и активизации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. В тоже время нерешенными остаются вопросы технологии применения электрохимически активированной воды с капельным орошением томатов, не проведена оценка ресурсоемкости этого приема, нет количественной оценки эффектов от использования способа электрохимической активации, не решены оптимизационные задачи. Необходимость решения этих вопросов определило направление наших исследований.

**Во второй главе** «Программа, методы и условия проведения исследований» сформулирована рабочая гипотеза и приведена программа проведения экспериментальных исследований.

Основные положения концепции исследований сводятся к оценке эффективности использования электрохимически активированной воды для орошения томатов капельным способом и проведению количественного анализа критериев эффективности с целью обоснования оптимального сочетания элементов технологии применения электрохимически активированной воды при орошении томатов капельным способом. Для решения указанных задач был выбран метод полевого эксперимента с закладкой двухфакторного полевого опыта. В рамках фактора А проводился поиск оптимальной периодичности применения электрохимически активированной воды с капельным орошением томатов в течение вегетационного периода: вариант А1 – контроль 1-го уровня (без применения электрохимически активированной воды); вариант А2 – применение электрохимически активированной воды каждый пятый вегетационный полив, вариант А3 - каждый четвертый полив, вариант А4 –каждый третий полив. На всех вариантах (кроме контроля) первый полив проводили с применением электрохимически активированной воды. В рамках фактора В проводился поиск рационального режима подачи электрохимически активированной воды в процессе полива: вариант

В1 – анолит- 50 % от поливной нормы, природная вода - 50 % от поливной нормы; вариант В2 – анолит - 25 % от поливной нормы, природная вода - 50 % от поливной нормы, католит - 25 % от поливной нормы; вариант В3 – анолит - 10 % от поливной нормы; природная вода - 50 % от поливной нормы, католит - 40 % от поливной нормы; вариант В4 - природная вода - 50 % от поливной нормы, католит - 50 % от поливной нормы. Опыт был заложен на фоне щадящего режима применения средств химической защиты растений (без применения фунгицидов). В отличие от контроля 1-уровня контроль 0-уровня предусматривал стандартную зональную схему химической защиты растений (с использованием препаратов группы фунгицидов).

Установка для электрохимической активации воды на опытном участке представляет собой комплекс гидравлически параллельно соединенных между собой активационных модулей, обеспечивающих при непосредственной подаче анолита в систему капельного орошения (без хранения) сохранение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) электрохимически активированной воды на капельницах до (+570)-(+600) мВ при рН среды на уровне 5,1-5,3. При подаче католита в систему из промежуточного закрытого резервуара с хранением 2,5-3,0 часа окислительно-восстановительный потенциал электрохимически активированной воды на выходе из капельниц составлял (- 220)-(- 250) мВ при рН не более 7,8-7,9.

Экспериментальная часть исследований была реализована в 2010-2012 г.г. на орошаемых землях КФХ «Фокин С.И.» Городищенского района Волгоградской области, расположенного в зоне распространения светло-каштановых почв Нижнего Поволжья. Естественная влагообеспеченность территории в годы проведения исследований характеризовалась поступлением 76,4-145,6 мм осадков, что за вегетационный период томатов лишь немногим меньше среднесуточного уровня. При этом сумма накопленных среднесуточных температур воздуха изменялась от 2911 °С в 2011 году до 3228 °С в 2010 году. Порог предполивной влажности активного слоя почвы поддерживали на уровне 80 % НВ. Почвы опытного участка среднесуглинистые, низкогумусные (1,5-2,0%) с содержанием легкогидролизуемого азота в пахотном слое в пределах 22,4-29,8 мг/кг, обменного калия – 192,7-212,3 мг/кг, подвижного фосфора – 25,3-27,4 мг/кг. Уровень грунтовых вод - более 8,5 м. Варианты опыта на участке размещались рендомизированно методом расщепленных делянок. Повторность - четырехкратная. Общая площадь опыта 1,05 га, площадь учетной делянки 150 м<sup>2</sup>. Измерение рН и окислитель-

но-восстановительного потенциала электрохимически активированной оросительной воды проводили рН-метром марки рН-150 МИ с набором измерительных электродов.

**В третьей главе** «Закономерности водопотребления и особенности применения электрохимически активированной воды при капельном орошении томатов» изучены особенности формирования режима капельного орошения и потребления электрохимически активированной воды с поливом томатов.

Установлено, что суммарное водопотребление томатов изменяется при электрохимической активации оросительной воды, а также существенно зависит от технологии ее применения (таблица 1). Использование электрохимически активированной воды увеличивало суммарное водопотребление томатов на 87-493 м<sup>3</sup>/га или 1,7-9,5 %, причем наибольший расход воды, 5553-5703 м<sup>3</sup>/га, наблюдался при поочередном применении анолита и католита за полив в пропорции 1:4 (вариант В3).

**Таблица 1 – Водопотребление и параметры капельного орошения томатов**  
(среднее за 2010-2012 гг.)

v	n	Водопотребление, м <sup>3</sup> /га		Оросительная норма, м <sup>3</sup> /га	Биоклиматические коэффициенты, мм <sup>°</sup> С	Число поливов (по 160 м <sup>3</sup> /га)	Число поливов с электрохимической активацией оросительной воды	Затраты ЭХА-воды	Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т
		Суммарное	Среднесуточное						
С использованием фунгицидов (контроль 0-уровня)									
0	–	5393	47,6	4390	0,198	26-28	0	0	59,9
Без фунгицидов									
Контроль 1 уровня		5210	46,7	4177	0,194	24-27	0	0	65,4
0,2	1	5297	47,7	4337	0,197	26-27	6	960	60,9
0,2	0,5	5437	47,9	4443	0,199	26-28	6	960	60,1
0,2	0,2	5553	48,4	4550	0,202	27-29	6	960	59,4
0,2	0	5317	47,2	4283	0,196	25-27	5-6	907	65,5
0,25	1	5190	47,4	4230	0,196	25-26	7	1120	61,7
0,25	0,5	5430	48,0	4443	0,200	26-28	7	1120	60,5
0,25	0,2	5667	49,0	4657	0,204	28-29	7-8	1173	58,1
0,25	0	5437	47,7	4390	0,198	25-28	7	1120	63,7
0,33	1	5060	47,2	4017	0,195	23-26	8-9	1333	64,5
0,33	0,5	5383	47,8	4390	0,198	26-28	9-10	1493	61,8
0,33	0,2	5703	49,2	4657	0,205	28-29	9-10	1493	58,5
0,33	0	5463	47,9	4443	0,199	26-28	8-10	1440	62,6

Примечание: v – доля поливов с введением ЭХАВ; n – индекс анолита (доля анолита по отношению к общему объему подачи ЭХАВ с капельным орошением за полив)

Совокупное изменение среднесуточного водопотребления томатов под влиянием погодных условий вегетационного периода и условий, регулируемых в соответствии со схемой полевого эксперимента, составило 8,8 м<sup>3</sup>/га в сут. или 18,3 %. Последнее

наиболее остро ставит задачу повышения точности прогноза суммарного водопотребления томатов, как основной статьи водного баланса, определяющей доступность почвенной влаги культурным растениям. Исследованиями уточнены температурные коэффициенты испарения влаги для томатов при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды.

Получена зависимость для расчета внутривегетационных значений температурных коэффициентов испарения влаги томатами (рисунок 1):

$$K_i = -0,0149T^2 + 1,8573T + 54,915, \quad (1)$$

где  $K_i$  – индекс внутривегетационного значения температурных коэффициентов испарения влаги томатами, % к средневзвешенному значению температурных коэффициентов за вегетационный период;  $T$  - вегетационный период, % к общей продолжительности.

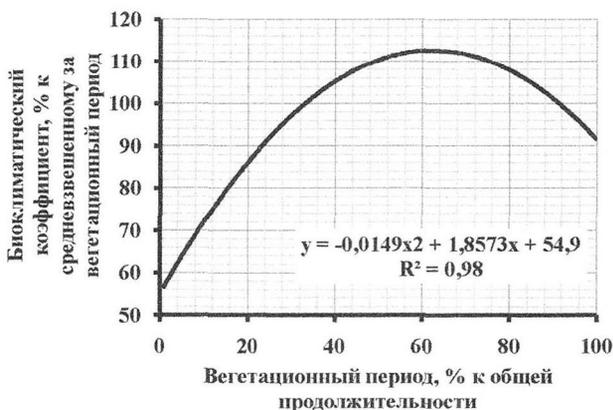


Рисунок 1 - График изменения значений температурных коэффициентов испарения влаги томатами в течение вегетационного периода

Для учета влияния технологии применения электрохимически активированной воды на динамику температурных коэффициентов по опытным данным была аппроксимирована множественная зависимость, вида:

$$K_s = a + bv + cn + dv^2 + en^2 + fv + gv^3 + hn^3 + ivn^2 + jv^2n, \quad (2)$$

где  $K_s$  – биоклиматический коэффициент испарения влаги томатами, рассчитанный по сумме среднесуточных температур воздуха;  $v$  – доля поливов с введением электрохимически активированной воды;  $n$  – доля анолита по отношению к общему объему подачи электрохимически активированной воды с капельным орошением за полив. Параметры модели,  $a=0,049$ ;  $b=-0,326$ ;  $c=0,055$ ;  $d=-0,231$ ;  $e=-0,154$ ;  $f=0,014$ ;  $g=-0,052$ ;  $h=0,102$ ;  $i=0,0056$ ;  $j=0,011$  – определены в результате регрессионного анализа опытных

данных. Коэффициент детерминации зависимости равен 0,97. Совокупное использование зависимостей (1) и (2) позволяет рассчитать значения биоклиматического коэффициента для любого периода роста и развития томатов с учетом влияния фактора электрохимической активации оросительной воды на интенсивность водопотребления.

Исследования показали, что для поддержания порога предполивной влажности среднесуглинистых светло-каштановых почв не ниже 80 % НВ при капельном орошении томатов в зоне сухих степей Нижнего Поволжья требуется проведение 23-29 поливов нормой 160 м<sup>3</sup>/га. Это означает, что при использовании электрохимически активированной воды с каждым пятым поливом за сезон потребуется включение активационной установки не менее 5-6 раз, с каждым четвертым поливом - не менее 7-8 раз, с каждым третьим поливом - 8-10 раз. Применение анолита и католита по технологии поочередного применения в пропорции 1:4 сопровождается наибольшим расходом активированной воды за вегетационный период томатов, 1173-1493 м<sup>3</sup>/га.

При общем повышении суммарного водопотребления удельные затраты воды на формирование урожая томатов за счет использования приема электрохимической активации снижаются (таблица 1, рисунок 2). Опытами установлено, что последовательное снижение доли анолита в общем объеме используемой для полива электрохимически активированной воды до 0,2 (соотношение 1:4) позволяет снизить коэффициент водопотребления томатов до 59,4 м<sup>3</sup>/т, что на 9,2 % эффективнее контрольного варианта.

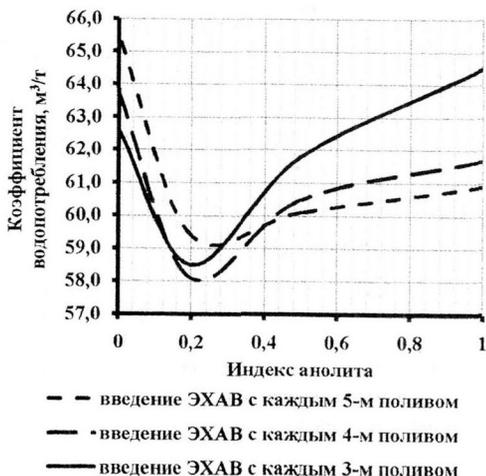


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента водопотребления томатов от соотношения анолита и католита в общем объеме электрохимически активированной воды, подаваемой с поливом

Использование электрохимически активированной воды с соотношением анолита и католита 1:4 было наиболее эффективно с повторением в каждый четвертый полив. Такое сочетание факторов обеспечило возможность капельного орошения томатов со средним расходом воды на формирование урожая не более 58,1 м<sup>3</sup>/т.

**В четвертой главе** «Закономерности роста и развития томатов при капельном орошении с электрохимической активацией оросительной воды» изучены перспективы снижения пестицидной нагрузки при капельном орошении томатов за счет электрохимической активации оросительной воды, исследованы закономерности развития и возможности активизации фотосинтеза томатов при разных режимах применения ЭХАВ.

Исследования показали, что использование электрохимически активированной воды при капельном орошении томатов позволяет сдерживать распространение болезней и ингибирует их развитие на уже зараженных растениях (таблица 2).

**Таблица 2 – Распространение и развитие болезней томата**

v	n	Год исследования										
		2010 год					2011 год				2012 год	
		Септориоз		Фитофтороз			Фитофтороз		Корневая гниль		Септориоз	
		s	i	s	i	s	i	s	i	s	i	
С использованием фунгицидов (контроль 0-уровня)												
0	-	0,5	11,2	0	-	0,7	17,8	0	-	0,3	9,8	
Без фунгицидов												
Контроль 1 уровня		13,7	27,2	3,6	55,3	17,2	63,2	4,6	78,6	15,6	37,8	
0,2	1	1,2	13,4	0,3	33,2	2,5	14,9	1,7	63,5	3,2	16,5	
0,2	0,5	1,9	12,1	0,5	31,2	2,9	15,6	0,4	55,2	3,5	14,4	
0,2	0,2	2,5	8,2	0,5	30,8	3,1	14,7	0,7	51,3	4,2	10,5	
0,2	0	11,2	9,8	3,2	31,5	15,2	13,5	0,9	45,3	13,1	12,7	
0,25	1	0,7	12,1	0,4	35,3	1,3	12,8	1,4	59,3	1,5	15,2	
0,25	0,5	1,1	10,8	0,4	33,4	1,9	12,8	0,2	53,2	2,6	13,5	
0,25	0,2	1,5	7,6	0,5	31,3	1,9	11,5	0,2	50,1	2,9	10,5	
0,25	0	7,8	9,2	3,5	32,4	13,7	13,4	0,7	44,0	9,3	12,1	
0,33	1	0,3	11,9	0,3	34,7	1,3	16,4	1,4	57,9	1,4	14,8	
0,33	0,5	0,9	10,5	0,4	32,0	1,9	15,3	0,3	53,0	2,1	13,5	
0,33	0,2	1,4	7,2	0,6	30,8	2,2	15,0	0,4	50,0	2,4	10,8	
0,33	0	5,9	9,2	3,5	31,8	14,1	15,2	1	45,6	6,2	11,9	
НСР	А	0,32	0,50	0,41	1,46	0,35	0,65	0,30	2,15	0,43	0,73	
	В	0,32	0,50	0,41	1,46	0,35	0,65	0,30	2,15	0,43	0,73	
	АВ	0,65	1,00	0,81	2,92	0,70	1,29	0,59	4,30	0,85	1,45	

Примечание: v – доля поливов с введением ЭХАВ; n – индекс анолита (доля анолита по отношению к общему объему подачи ЭХАВ с капельным орошением за полив); s – доля пораженных растений, %; i – средняя интенсивность поражения растения, %.

Например, на участках, где анолит поочередно с природной оросительной водой применяли в каждый пятый полив, распространение септориоза сокращалось в 5-11 раз, а при использовании такой технологии проведения каждого третьего полива – в 11-45 раз по сравнению с контролем 1-уровня. Также ингибировалось распространение и другой патогенной микрофлоры: в 7-13 раз сокращалось число растений, пораженных фитотфторой, в 2,7-3,3 раза – число растений, пораженных корневыми гнилями. Развитие септориоза и фитотфторы в наибольшей степени ингибировалось при поочередном применении анолита и католита в пропорции 1:4 в каждый четвертый или каждый третий полив. При этом средняя интенсивность поражения растений при заражении септориозом не превышала 7,2-10,8 %, а при заражении фитотфторой – 11,5-31,3 %. Наименьшая интенсивность поражения томатов при заражении корневой гнилью, 44,0-45,6 %, обеспечивалась при использовании для полива католита с поочередным введением в равных пропорциях с природной оросительной водой.

Использование приема электрохимической активации оросительной воды при капельном орошении позволяет существенно активизировать фотосинтетическую активность томатов, прежде всего, за счет увеличения фотосинтетического потенциала посева.

Опытами установлено, что поочередное использование анолита и католита с капельным орошением в пропорции 1:4 (вариант В3) позволяет увеличить фотосинтетический потенциал томатов в сравнении с контролем 0-уровня на 252-315 тыс.м<sup>2</sup>дней/га или 11,1-13,8 %, за счет чего интенсивность накопления органического вещества посевами возрастает на 8,1-10,7 % и обеспечивается формирование 10,69-11,00 т/га сухой биологической массы за вегетационный период. Следует признать, что использование анолита и католита с поливом в равных пропорциях обеспечило формирование фотосинтетического потенциала томатов на уровне контроля 0-уровня, а при использовании анолита поочередно с природной оросительной водой фотосинтетический потенциал томатов снижался на 3,5-12,0 %.

**В пятой главе** «Урожайность и качество томатов при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды» приведены результаты исследования структуры урожая томатов, определены режимы применения электрохимически активированной воды, обеспечивающие формирование наибольших урожаев наилучшего качества.

Исследования показали, что введение приема электрохимической активации оросительной воды при капельном орошении томатов позволяет регулировать структуру урожая, меняя соотношения компонентов с положительным и отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом (таблица 3). Растения с наибольшим числом плодов во все годы исследования формировались на участках варианта, где электрохимически активированную воду использовали каждый третий или каждый четвертый полив, а анолит и католит применяли поочередно в соотношении 1:4 (вариант В3). Такая технология применения электрохимически активированной воды обеспечивала формирование до 25 плодов на растении со средней массой 107 г.

**Таблица 3 – Урожайность и качество плодов томата**  
(среднее за 2010-2012 гг)

v	n	Число плодов на растении	Средняя масса плода, г	Урожайность, т/га	Плоды бланжевой спелости			Зрелые плоды		
					Коэффициент кислотности, %	Коэффициент сахаристости, %	Витамин С, мг%	Коэффициент кислотности, %	Коэффициент сахаристости, %	Витамин С, мг%
С использованием фунгицидов (контроль 0-уровня)										
0	-	21	100	90,2	9,3	45,0	23,7	8,6	47,1	20,5
Без фунгицидов										
Контроль I уровня		16	94	79,6	9,1	45,5	24,8	8,4	47,3	21,8
0,2	1	19	96	87,0	8,5	46,1	23,5	7,7	47,7	20,4
0,2	0,5	21	99	90,6	8,6	46,4	24,9	8,0	48,4	21,7
0,2	0,2	23	105	93,5	8,8	46,6	25,5	8,3	48,9	22,5
0,2	0	19	101	81,2	9,0	47,0	25,8	8,2	49,1	22,8
0,25	1	19	95	84,1	7,9	46,6	22,9	7,1	48,0	19,8
0,25	0,5	21	99	89,8	8,3	46,9	24,0	7,4	49,1	20,8
0,25	0,2	25	107	97,6	8,5	48,0	24,9	7,6	50,2	21,8
0,25	0	20	102	85,4	8,7	48,6	25,6	8,1	50,5	22,3
0,33	1	18	95	78,5	7,6	46,3	22,8	6,8	47,7	19,6
0,33	0,5	20	99	87,1	8,2	47,1	23,9	7,2	49,0	20,8
0,33	0,2	24	107	97,5	8,3	48,4	25,2	7,4	50,4	22,1
0,33	0	20	102	87,3	8,9	48,3	25,5	8,2	50,6	22,3
НСР <sub>05</sub>	A	0,6	3,1	1,34	-	-	0,34	-	-	0,32
	B	0,6	3,1	1,34	-	-	0,34	-	-	0,32
	AB	1,2	6,2	2,68	-	-	0,68	-	-	0,64

Полученные в опыте урожайные данные явились основанием для разработки статистической модели влияния режима применения электрохимически активированной воды на урожайность плодов томата. Последовательная отбраковка статистически несущественных и слабых компонентов модели позволила нам получить следующую форму зависимости:

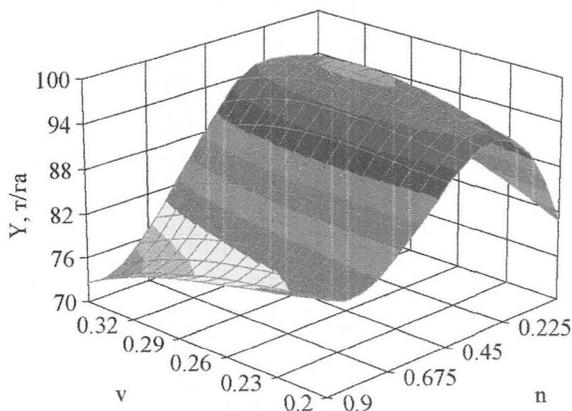
$$Y = a + bv + cn + dv^2 + en^2 + fn + gv^3 + hn^3 + ivn^2 + jv^2n, \quad (3)$$

где  $Y$  – урожайность стандартных плодов томата, т/га;  $v$  – доля поливов с введением ЭХАВ;  $n$  – доля анолита по отношению к общему объему подачи ЭХАВ с капельным орошением за полив.

Параметры модели,  $a = 73,2$ ;  $b = -126,5$ ;  $c = 177,1$ ;  $d = 1290,8$ ;  $e = -285,4$ ;  $f = -407,9$ ;  $g = -2351,1$ ;  $h = 170,4$ ;  $i = 34$ ;  $j = 479,8$ , – определены в результате регрессионного анализа опытных данных. Коэффициент детерминации зависимости равен 0,92.

Из графика зависимости (рисунок 4) видно, что поверхность отклика в рассматриваемом диапазоне предикторов имеет один, четко выраженный оптимум. Наибольшая продуктивность томатов была получена при поочередном применении анолита и католита за один цикл капельного полива в пропорции 1:4 (Вариант В3).

В среднем за годы исследований урожайность томатов на участках этого варианта достигала 93,5-97,6 т/га, что на 17,5-22,6 % больше контроля 1-го уровня и на 3,7-8,2 % больше контроля 0-го уровня. Характерно, что максимальная продуктивность томатов при этом обеспечивалась на участках, где прием электрохимической активации оросительной воды использовали каждый третий и каждый четвертый полив.



**Рисунок 4 – Динамика урожайности плодов томата в зависимости от режима применения электрохимически активированной воды с капельным орошением (по данным за 2010-2012 гг)**

Опытами установлено, что использование электрохимически активированной воды при капельном орошении в совокупности с увеличением продуктивности томатов позволяет эффективно решать проблему повышения качества плодов. Получение плодов томата с наибольшим содержанием витамина С - 25,8 мг%, обеспечивалось при уборке

в фазу бланжевой спелости на участках, где электрохимически активированную воду применяли каждый пятый полив по схеме варианта В4. В тоже время признанные стандарты вкусовых качеств плодов томата (коэффициент сахаристости больше 48 % при коэффициенте кислотности менее 8 %) при уборке в фазу бланжевой спелости достигнуты не были. При уборке зрелых плодов томата хорошие вкусовые качества обеспечивались на участках, где электрохимическую активацию оросительной воды применяли каждый четвертый или каждый третий полив, с поочередным введением анолита и католита в пропорции 1:4. Этим же сочетанием факторов обеспечивалось формирование урожая с наименьшим содержанием нитратов в плодах.

**В шестой главе** «Экономическое обоснование технологии применения электрохимически активированной воды при капельном орошении томатов» дана экономическая оценка эффективности использования электрохимически активированной воды для полива томатов, предложена технология применения электрохимически активированной воды с капельным орошением.

Расчеты показали, что затраты на приобретение и использование средств химической защиты растений при возделывании томатов составляют около 17 % всех понесенных затрат, причем около половины этой суммы приходится на фунгициды. Затраты на электрохимическую активацию части оросительной воды складывались из расходов на оплату электрической энергии, оплату труда и амортизационные отчисления по активационной установке. Наибольшие затраты на электрохимическую активацию оросительной воды, 4262-4778 руб./га, были понесены в вариантах, где активированная вода использовалась каждый третий проводимый полив.

Анализ показателей экономической и инвестиционной эффективности инновационных проектов на основе применения электрохимически активированной воды показал, что поочередное использование анолита и католита в пропорции 1:4 (вариант В3) в каждый четвертый вегетационный полив позволяет получать высококачественные плоды томата с себестоимостью не более 2 руб./кг при рентабельности производства 216,9 %. Инвестиции на закупку и монтаж оборудования для электрохимической активации оросительной воды окупаются в течение 1 года.

Последовательность выполнения операций при использовании электрохимической активации оросительной воды с поливом и реализации технологической схемы «без потерь» следующая:

1) установка для электрохимической активации оросительной воды включена; анолит подается в систему капельного орошения, параллельно происходит закачка католита в закрытый резервуар для хранения. Продолжительность операции,  $T$ , равна:

$$T = \frac{0,1m}{\sum P_k}, \quad (4)$$

где  $\sum P_k$  суммарная производительность капельниц на 1 га поливной площади,  $\text{м}^3/\text{час}$ ,  $m$  - поливная норма,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

2) установка для электрохимической активации оросительной воды отключена, в систему капельного орошения подается природная оросительная вода. Продолжительность операции,  $T$ , равна:

$$T = \frac{0,5m}{\sum P_k} \quad (5)$$

3) установка для электрохимической активации оросительной воды отключена, в систему капельного орошения из закрытого резервуара подается католит. Продолжительность операции,  $T$ , равна:

$$T = \frac{0,4m}{\sum P_k} \quad (6)$$

Соблюдение указанного регламента технологии применения электрохимически активированной воды при возделывании томата на капельном орошении обеспечивает возможность существенного снижения пестицидной нагрузки на орошаемые экосистемы при совокупном повышении продуктивности и всех показателей качества плодов с выполнением требований ресурсосбережения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование электрохимической активации оросительной воды при капельном орошении томатов обеспечивает возможность совокупного решения задач ресурсосбережения, экологической безопасности производства, повышения качества плодов при формировании урожайности на уровне 100 т/га.

Применение электрохимически активированной воды оказывает существенное влияние на весь ход роста и развития томатов, а также, опосредованно, - на водопотребление и использование водных ресурсов. Суммарное водопотребление томатов возрастает на 0,8-9,5 % при использовании электрохимически активированной воды по технологии поочередного введения анолита и католита, причем наибольший суммарный расход воды томатами, 5553-5703  $\text{м}^3/\text{га}$ , отмечен при использовании анолита и католита в соотношении 1:4 (вариант В3).

Установлено, что суммарное водопотребление томатов при использовании электрохимически активированной воды возрастает пропорционально продуктивности посева. Зависимость линейная, коэффициент корреляции 0,92, теоретическая прямая характеризует увеличение суммарного водопотребления томата на 12,6 % при росте продуктивности на 27,2 %.

Основным ресурсом, обеспечивающим восполнение запаса почвенной влаги при возделывании томатов в зоне сухих степей Нижнего Поволжья, является оросительная вода, на долю которой в опытах приходилось 79,3-82,2 % приходной части водного баланса. Поэтому режим орошения томата жестко связан с динамикой расходованной воды на суммарное водопотребление. Исследованиями установлено, что использование электрохимически активированной воды с поливом сопровождается изменением среднего потребления влаги в расчете на градус накопленных температур воздуха. Опытным путем уточнены значения температурных коэффициентов испарения влаги томатами и получена регрессионная зависимость для расчета непрерывных биологических кривых, учитывающих изменение динамики суммарного водопотребления при использовании приема электрохимической активации оросительной воды.

Для поддержания порога предполивной влажности среднесуглинистых светлокаштановых почв не ниже 80 % НВ при возделывании томатов в зоне сухих степей Нижнего Поволжья требуется проведение 23-29 поливов по 160 м<sup>3</sup>/га. Это означает, что при использовании электрохимически активированной воды с каждым пятым поливом за сезон потребуются включение активационной установки не менее 5-6 раз; использовании электрохимически активированной воды с каждым четвертым поливом за сезон потребуются включение активационной установки не менее 7-8 раз; использовании электрохимически активированной воды с каждым третьим поливом за сезон потребуются включение активационной установки не менее 8-10 раз. При использовании анолита и католита по технологии поочередного применения в пропорции 1:4 расход активированной воды за вегетационный период томатов достигает наибольших значений, 1173-1493 м<sup>3</sup>/га.

Использование электрохимически активированной воды при капельном орошении томатов позволяет повысить эффективность использования водных ресурсов и снизить их расход на формирование единицы урожая. Наиболее эффективно, 58,1-59,4 м<sup>3</sup>/т, формирование урожая вода расходуется при поочередном введении анолита и католита

в соотношении 1:4 (вариант В3). Увеличение доли проведения поливов с электрохимической активацией воды до 0,25 (каждый четвертый полив) при поочередном введении анолита и католита в пропорции 1:4 повышает эффективность использования воды на формирование урожая. Дальнейшее сокращение циклов между очередными применениями электрохимически активированной воды изменением коэффициента водопотребления томата не сопровождалось.

Использование электрохимически активированной воды при капельном орошении томата позволяет сдерживать распространение болезней и ингибирует их развитие на уже зараженных растениях. Наилучшей альтернативой химическим методам сдерживания распространения фитофторы и септориозов является поочередное применение анолита в равной пропорции с природной оросительной водой. Распространение болезней в опытах при этом не превышает 0,3-1,5 %, что сравнимо с показателями, обеспечиваемыми стандартными средствами химической защиты растений. Наилучшей альтернативой химическим методам сдерживания распространения корневых гнилей является поочередное применение католита и природной оросительной воды в равных пропорциях. В опытах это позволяло сдерживать распространение болезни в пределах 0,7-0,9 %. Обеспечение благоприятной фитосанитарной ситуации в посевах за счет применения электрохимической активации оросительной воды при капельном орошении томатов позволяет существенно снизить пестицидную нагрузку при сохранении и увеличении их продуктивности.

Использование электрохимически активированной воды для полива при капельном орошении позволяет существенно активизировать фотосинтетическую активность томатов, прежде всего, за счет увеличения фотосинтетического потенциала посева. Поочередное использование анолита и католита с капельным орошением в пропорции 1:4 (вариант В3) позволяет увеличить фотосинтетический потенциал томатов на 252-315 тыс. м<sup>2</sup> дней/га или 11,1-13,8 %, за счет чего интенсивность накопления органического вещества посевами возрастает на 8,1-10,7 % и обеспечивается формирование 10,69-11,00 т/га сухой биологической массы за вегетационный период. Значения средних для чистой продуктивности фотосинтеза по вариантам опыта находились в тесном диапазоне, от 4,1 до 4,2 г/м<sup>2</sup> в сут., с отклонением от контроля 0-уровня не более 0,5-2,4 %. Закономерностей изменения средних для чистой продуктивности фотосинтеза томата в опытах не выявлено.

Применение электрохимически активированной оросительной воды с каждым четвертым или каждым третьим вегетационным поливом по технологии поочередного введения анолита и католита (вариант В3) позволяет существенно улучшать структуру урожая, одновременно повышая на 14,2-25,0 % среднее число плодов на растении и на 5,0-8,9 % - массу среднего плода. Другим преимуществом использования электрохимической активации оросительной воды является повышение коэффициента выравненности плодов в урожае до 95,0-97,6 %.

Установлено, что использование электрохимически активированной воды с каждым пятым вегетационным поливом при поочередном применении анолита и католита в равных пропорциях (вариант В2) обеспечивает сохранение уровня продуктивности томатов не ниже 90 т/га без использования фунгицидов. Использование технологии поочередного введения анолита и католита в пропорции 1:4 (вариант В3) с каждым четвертым или каждым третьим вегетационным поливом позволяет отказаться от использования препаратов группы фунгицидов с возможностью одновременного повышения урожайности томатов на 8,1-8,2 %.

Получение плодов томата с наибольшим содержанием витамина С - 25,8 мг% обеспечивается при уборке в фазу бланжевой спелости орошением в течение вегетационного периода капельным способом с применением электрохимически активированной воды в каждый пятый полив при поочередном введении природной оросительной воды (50 %) и католита (50 %). Плоды томата с наилучшими вкусовыми качествами (коэффициентом сахаристости больше 48 % и коэффициентом кислотности меньше %) можно получить при применении электрохимической активации оросительной воды в каждый четвертый или каждый третий полив, с поочередным введением анолита и католита в пропорции 1:4. Этим же сочетанием факторов создаются условия формирования плодов томата с наименьшим содержанием нитратов.

Использование электрохимически активированной воды на фоне щадящего режима использования средств химической защиты растений (без фунгицидов) позволяет формировать экономически выгодные и инвестиционно привлекательные проекты. Поочередное использование анолита и католита в пропорции 1:4 (Вариант В3) в каждый четвертый вегетационный полив позволяет получать высококачественные плоды томата себестоимостью не более 2 руб./кг, и формировать инвестиционные проекты с внутренней нормой доходности 129 % и сроком окупаемости не более 1 года.

На основании вышеизложенного для формирования гарантированных урожаев высококачественных плодов томата на уровне 100 т/га без применения фунгицидов в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья рекомендуется:

– использовать капельное орошение в сочетании с электрохимической активацией оросительной воды, обеспечивающих возможность подачи в прикорневую зону анолита с параметрами – ОВП = (+ 570)-(+ 600) мВ при рН среды на уровне 5,1-5,3 и католита с параметрами – ОВП = (– 220)-(– 250) мВ при рН не более 7,8-7,9;

– использовать технологию поочередного применения анолита и католита с поливом по схеме варианта В3, чем обеспечивается повышение всех показателей качества и продуктивности томата при соблюдении требований ресурсосбережения;

– проводить электрохимическую активацию оросительной воды с каждым четвертым вегетационным поливом, что обеспечивает рациональное использование электрохимически активированной воды и формирование наилучших экономических показателей производства.

**По материалам диссертации опубликовано 11 научных работ. В изданиях, рекомендованных ВАК РФ, опубликованы 6 следующих работ:**

1. Семененко, С.Я. Разработка проточных устройств для электрохимической активации воды производственного назначения / С.Я. Семененко, А.Л.Конюшков, **Е.И. Чушкина**, А.Н.Лагутин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. - №2(30). – С. 214-218

2. Семененко С.Я. Продуктивность томатов при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды /С.Я. Семененко, **Е.И. Чушкина**, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 2 (14). – С. 1-14

3. Семененко С.Я. Эффективность возделывания томатов при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды /С.Я. Семененко, **Е.И. Чушкина**, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин // Плодородие. – 2014. – №3. – С. 38-41

4. Семененко, С.Я. Обеспечение качества плодов томата при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды /С.Я. Семененко, **Е.И. Чушкина**, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин // Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. – 2014. – № 3. – С. 73-77

5. Дубенок,Н.Н. Экспериментальное обоснование возможности снижения пестицидных нагрузок при возделывании томатов в условиях орошения /Н.Н. Дубенок,

С.Я. Семенов, **Е.И. Чушкина**, М. Н.Лытов//Вестник РАСХН. – 2014.–№ 5.–С. 55-58

6. **Чушкина Е.И.**Водопотребление рассадных томатов при капельном орошении электрохимической активацией оросительной воды /Е.И. Чушкина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № (3). – С.38-54

В прочих изданиях опубликованы 3 работы:

7. Семенов, С.Я. Исследование воздействия электрохимически активированной воды на морфометрические характеристики томатов / С.Я. Семенов, **Е.И. Чушкина** // Актуальные вопросы природопользования в аридной зоне Северо-Западного Прикаспия: материалы I международной научно-практической конференции молодых ученых. – М.: Издательство «Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук», 2012. – С. 144-147

8. Семенов, С.Я. Механизм действия электрохимически активированной воды и анализ её применения в разных отраслях сельхозпроизводства /С.Я. Семенов **Е.И. Чушкина**, М.Н. Кузнецова, М.В. Мазепа // Современные агротехнологии-2012 тезисы докладов международной научно-практической интернет-конференции. Великий Новгород: Новгородский НИИСХ. – 2012 г. – С. 22-24

9. **Чушкина Е.И.** Биофизический способ подавления патогенной микрофлоры при возделывании томатов в условиях капельного орошения / Е.И. Чушкина // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014 – С. 102-105

Получено 2 патента на изобретения:

10. Патент РФ на изобретение № 2 518 606. Установка для электрохимической активации воды / Конюшков А.Л., Семенов С.Я., Лагутин А.Н., **Чушкина Е.И.** Кузнецова М.Н. // Изобретения. Полезные модели. – 2014. – № 16.

11. Патент РФ на изобретение № 2 528448. Способ возделывания овощных культур при капельном орошении / Семенов С.Я., Абезин В.Г., **Чушкина Е.И.**, Кузнецова М.Н. // Изобретения. Полезные модели. – 2014. – № 26.

Пописано к печати \_\_\_\_\_ 2014 г. Формат 60×84  
Бумага офсетная. Гарнитура TimesNewRoman. Печать трафаретная  
Уч. – изд л.1. Тираж 100. Заказ  
Редакционно-издательский отдел ФГБНУ «ПНИИЭМТ»  
400012, г. Волгоград, ул. Трехгорная, 21