

УДК 635.04:631.6.03

Е. И. Чушкина

Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий,
Волгоград, Российская Федерация

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ РАССАДНЫХ ТОМАТОВ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИЕЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Цель исследований состоит в повышении эффективности оросительных мелиораций при возделывании томатов за счет разработки и внедрения технологии капельного орошения с использованием электрохимически активированных вод (ЭХАВ). Исследования проводились в 2010-2012 гг. в Волгоградской области на светло-каштановых суглинистых почвах. Изучаемыми факторами были: периодичность использования ЭХАВ в течение вегетационного периода томатов, включая варианты без использования ЭХАВ и с использованием во время первого (в период высадки рассады) и каждого пятого, четвертого и третьего полива; режим подачи ЭХАВ во время полива, предусматривающий варианты: 1 – подача 50 % поливной нормы анолита и 50 % неактивированной оросительной воды, 2 – 25 % анолита, 50 % оросительной воды, 25 % католита, 3 – 10 % анолита, 50 % оросительной воды, 25 % католита, 4 – 50 % оросительной воды и 50 % католита. Непосредственная подача анолита в систему капельного орошения обеспечила сохранение окислительно-восстановительного потенциала ЭХАВ на выходе из капельниц до 570-600 мВ при рН среды на уровне 5,1-5,3; подача католита из промежуточного резервуара (хранение в течение 2,5-3,0 ч) – от минус 220 до минус 250 мВ при рН не более 7,8-7,9. В ходе исследования установлено, что суммарное водопотребление томатов при использовании ЭХАВ в среднем изменялось от 5060 до 5703 м³/га при урожайности 78,5-97,6 т/га. Определен оптимум использования воды на формирование урожая – 58,1 м³/т, который определялся использованием ЭХАВ с первым и каждым четвертым вегетационным поливом и соотношением анолита и католита 1:4 (вариант 3).

Ключевые слова: томаты, капельное орошение, электрохимическая активация, водопотребление, коэффициент водопотребления, продуктивность.

Ye. I. Chushkina

Volga Research Institute of Ecological and Amelioration Technologies, Volgograd,
Russian Federation

WATER CONSUMPTION OF SEEDLING TOMATO UNDER DRIP IRRIGATION WITH ELECTROCHEMICAL ACTIVATION OF IRRIGATION WATER

The aim of the research is to decrease ecological loadings on irrigated agrolandscapes and to increase the efficiency of irrigative land reclamation at tomato growing due to development and introduction the technology of drip irrigation using electro-chemically activated water (ECAW). The research was conducted in 2010-2012 in Volgograd region at the light-chestnut loam soils. The studying factors were (A) periodicity of ECAW applying during vegetation period of tomatoes including the variants without ECAW and applying each fifth, fourth, and third irrigation, and (B) discharge regime of ECAW within a single watering according to four variants: 1 – discharge of anolyte (AN) (redox potential from + 570 to + 600 mV and pH 5,1-5,3) by the volume of 50 % of the whole irrigation rate (IR) followed by 50 % of non-

activated irrigation water (IW), 2 – discharge of AN (25 % of IR) followed by IW (50 % of IR) and then catholyte (CAT) (redox potential from – 220 to – 250 mV and pH 7,8-7,9) (25 % of IR), 3 – discharge of AN (10 % of IR) followed by IW (50 % of IR) and then CAT (40 % of IR), 4 – discharge of IW (50 % of IR) followed by CAT (50 % of IR). The study found that seasonal water consumptive rate of tomato using ECAW varied from 5060 to 5703 m³/ha for the yields of 78.5-97.6 t/ha. The optimum of water use for yield formation was determined. Its mean value was 58.1 m³/t. The optimum was affected by applying ECAW in the first and every fourth irrigation; as well as the alternating discharge of anolyte and catholyte in the ratio of 1:4. To determine the values of bioclimatic coefficients considering the impact of ECAW on water consumption in every period of growing and development of tomato plant, we have established the regression relation which could be use for solving the objectives of operational planning for irrigation of tomato plants according to known calculating schemes and algorithms.

Keywords: tomato, drip irrigation, electro-chemical activation, water consumption, coefficient of water consumption, yield.

Экономия и оптимальное использование водных ресурсов являются одними из приоритетных задач современного орошаемого земледелия. Решение вопросов рационального водопользования в условиях регулярного орошения позволяет стабилизировать экологическую обстановку на мелиорированных массивах, снижать энергоёмкость и повышать рентабельность производства, увеличивать общую орошаемую площадь и площадь одновременно поливаемых земель при сохранении дебета источника. Ключевым условием рационального водопользования в условиях регулярного орошения является знание закономерностей водопотребления сельскохозяйственных культур, на основе которых составляются планы и графики распределения оросительной воды. Прогноз водопотребления и удельных затрат воды на формирование урожая обеспечивает возможность оптимизации графиков водопользования. В совокупности с разработкой новых, энергоэффективных мероприятий по сбережению водных ресурсов это позволяет решать проблему рационального водопользования на современном уровне. В настоящей работе предлагается оценить возможности повышения эффективности использования водных ресурсов за счет повышения собственно качества оросительной воды на основе использования феномена электрохимической активации.

Сегодня установлен и проходит этап активного обсуждения меха-

низм биологического действия электрохимически активированных воды или растворов на организмы растительного и животного происхождения [1]. Исходными материалами исследований являются результаты полевого эксперимента и установленные эффекты «санирующего» и «стимулирующего» действия электрохимически активированной воды (ЭХАВ) на посадки рассадных томатов [2]. Цель исследований состоит в снижении экологических нагрузок на орошаемые агроландшафты и повышении эффективности оросительных мелиораций при возделывании овощных культур за счет разработки и внедрения технологии капельного орошения с использованием ЭХАВ. Ключевыми задачами исследований, решение которых необходимо для разработки технологии капельного орошения с использованием ЭХАВ, являются:

- оценка возможности и условия повышения эффективности использования водных ресурсов при возделывании рассадных томатов с применением методов электрохимической активации оросительной воды;

- изучение закономерностей водопотребления томатов при капельном орошении с электрохимической активацией оросительной воды;

- анализ и адаптация методов прогнозирования суммарного водопотребления томатов на основе биоклиматических коэффициентов с учетом особенностей капельного орошения при использовании электрохимической активации оросительной воды.

Материалы и методы. Опыты проводили в КФХ «Фокин С. И.» Городищенского района Волгоградской области в 2010-2012 гг. Почвы опытного участка светло-каштановые суглинистые, типичные для региона исследований. Обеспеченность пахотного слоя почвы доступными формами азота составляет 26,8 мг/кг и характеризуется как низкая; обеспеченность фосфором – средняя (26,6 мг/кг), калием – высокая (203,6 мг/кг). По совокупности метеорологических показателей вегетационный период томата в 2011 году характеризовался как засушливый, а в 2012 году – как острозасушливый. Метеоусловия 2010 года были аномальными: обеспеченность

теплом была наибольшей за последние 25 лет, а объем поступивших атмосферных осадков – на среднемноголетнем уровне. Расчетная доза внесения минеральных удобрений на планируемый уровень урожайности 90 т/га с учетом естественного плодородия почвы составила $N_{150}P_{80}K_{180}$ кг/га д. в.

Схема полевого эксперимента представлена сочетанием изучаемых факторов:

- фактора А, характеризующего периодичность применения ЭХАВ с капельным орошением томатов в течение вегетационного периода;

- фактора В, характеризующего особенности применения ЭХАВ в процессе орошения.

В рамках фактора А (периодичность применения ЭХАВ с капельным орошением томатов в течение вегетационного периода) к исследованию были поставлены следующие варианты:

- вариант А1 – контроль 1-го уровня (без применения ЭХАВ);

- вариант А2 – применение ЭХАВ при орошении томатов капельным способом в период высадки рассады и в последующий каждый пятый вегетационный полив. Доля поливов с применением ЭХАВ равна 0,2;

- вариант А3 – применение ЭХАВ при орошении томатов капельным способом в период высадки рассады и в последующий каждый четвертый вегетационный полив. Доля поливов с применением ЭХАВ равна 0,25;

- вариант А4 – применение ЭХАВ при орошении томатов капельным способом в период высадки рассады и в последующий каждый третий вегетационный полив. Доля поливов с применением ЭХАВ равна 0,33.

В рамках фактора В (режим подачи ЭХАВ в процессе полива) изучались следующие варианты:

- вариант В1 – подача 50 % от поливной нормы анолита (раствора с окислительными свойствами) с последующей подачей природной оросительной воды в объеме 50 % от поливной нормы. Доля анолита в общем объеме ЭХАВ, поданной за полив, равна 1;

- вариант В2 – полив до 25 % от поливной нормы анолитом с после-

дующей подачей природной оросительной воды в объеме 50 % от поливной нормы, а затем полив католитом (раствором с восстановительными свойствами) в объеме 25 % от поливной нормы. Доля анолита в общем объеме ЭХАВ, поданной за полив, равна 0,5;

- вариант В3 – полив 10 % от поливной нормы анолитом с последующей подачей природной оросительной воды в объеме 50 % от поливной нормы, а затем – католита в объеме 40 % от поливной нормы. Доля анолита в общем объеме ЭХАВ, поданной за полив, равна 0,2;

- вариант В4 – подача 50 % от поливной нормы природной оросительной воды с последующим поливом католитом в объеме 50 % от поливной нормы. Доля анолита в общем объеме ЭХАВ, поданной за полив, равна 0.

С целью количественного анализа «санирующего» эффекта используемой для полива ЭХАВ программой полевого эксперимента была предусмотрена закладка общего контроля (контроль 0-уровня). Контроль 0-уровня был представлен типичной интенсивной технологией возделывания томатов в условиях орошения. На данном варианте в рамках системы интегрированной защиты растений было предусмотрено применение гербицидов (Зенкор нормой 0,7 л/га, обработки по необходимости, по вегетирующим растениям в фазу образования не более 2-4 листьев у сорняков), инсектицидов (баковые смеси Золон – 1 л/га + Карате – 0,2 л/га – опрыскиванием с интервалом 30 дней) и фунгицидов (Фундазол нормой 6 кг/т семян – протравливание за 15 дней до посева на рассаду; баковая смесь – Ридомил Голд – 2 кг/га + Квадрис – 0,3 л/га – опрыскиванием с интервалом в 2 недели; препарат Полирам ДФ нормой 2,0 кг/га, опрыскиванием с интервалом в 14 дней; Фитолавин-300 нормой 6 кг/га – с поливной водой в 0,2 %-ном растворе).

На контроле 1-уровня в отличие от общего контроля (0-уровня) использование фунгицидов было сознательно исключено. На фоне щадящего режима применения средств химической защиты растений (без использо-

вания фунгицидов) были также заложены и все варианты, образованные сочетанием изучаемых факторов (фактора А и фактора В).

Для активации воды использовалась установка, оснащенная модулями электрохимической активации АВМ.02.000 [3]. Проведенные замеры показали, что при непосредственной подаче анолита в систему капельного орошения (без хранения) обеспечивается сохранение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) ЭХАВ на выходе из капельниц до 570-600 мВ при рН среды на уровне 5,1-5,3. При подаче католита в систему из промежуточного закрытого резервуара с хранением в течение 2,5-3,0 часов ОВП на выходе из капельниц составлял от минус 220 до минус 250 мВ при рН не более 7,8-7,9.

Система капельного орошения на опытном участке была оснащена поливными трубопроводами с полукомпенсированными капельницами, обеспечивающими расход воды каждой капельницей 1,3 л/ч. Расчетная поливная норма для поддержания предполивного порога влажности почвы 80 % НВ в слое 0,5 м составляла 160 м³/га.

Результаты и обсуждение.

Для поддержания предполивного порога влажности почвы на уровне 80 % НВ в годы исследований потребовалось проведение 23-29 поливов нормой 160 м³/га за вегетационный период, т. е. с использованием ЭХАВ потребовалось проведение 5-6 поливов для условий варианта А2, 7-8 поливов для условий варианта А3 и 8-10 поливов для условий варианта А4 (таблица 1).

Наибольшая оросительная норма для поддержания предполивного уровня влажности почвы, составившая в среднем за годы исследований 4657 м³/га, потребовалась на участках, где электрохимическая активация воды проводилась каждый четвертый и каждый третий полив, а в ходе полива анолит и католит применяли поочередно в пропорции 1:4 (таблица 2).

Таблица 1 – Режим орошения томатов

v	n	Число поливов за период				
		Высадка рассады– начало цветения	Начало цветения– образование 1-й завязи	Начало пло- дообразова- ния–1-й сбор урожая	Плодо- ношение	Вегетаци- онный пе- риод
С использованием фунгицидов (контроль 0-уровня)						
0	-	0-3	4-5	9-12	9-11	26-28
Без фунгицидов						
Без ЭХАВ (кон- троль 1-уровня)		0-3	4-5	9-12	7-10	24-27
0,2	1	0-3	4-5	9-12	9-10	26-27
0,2	0,5	0-3	4-5	9-12	9-11	26-28
0,2	0,2	0-3	4-5	9-12	9-12	27-29
0,2	0	0-3	4-5	9-12	8-10	25-27
0,25	1	0-3	4-5	9-12	9	25-26
0,25	0,5	0-3	4-5	9-12	9-10	26-28
0,25	0,2	0-3	4-5	9-12	10-12	28-29
0,25	0	0-3	4-5	9-12	8-11	25-28
0,33	1	0-3	4	9-11	8-9	23-26
0,33	0,5	0-3	4-5	9-12	9-11	26-28
0,33	0,2	0-3	4-5	9-12	10-12	28-29
0,33	0	0-3	4-5	9-12	8-11	26-28
Примечание – v – доля поливов с введением ЭХАВ; n – индекс анолита (доля анолита по отношению к общему объему подачи ЭХАВ с капельным орошением за полив).						

Таблица 2 – Затраты оросительной воды (J) при капельном орошении томатов с использованием электрохимически активированной воды

В м³/га

v	n	Год исследований			Среднее	ΔJ к контролю 0-уровня		ΔJ к контролю 1-уровня	
		2010	2011	2012		м ³ /га	%	м ³ /га	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
С использованием фунгицидов (контроль 0-уровня)									
0	-	4210	4320	4640	4390	-	-	-	-
Щадящее применение средств химической защиты растений (без фунгицидов)									
Без ЭХАВ (контроль 1-уровня)		4050	4000	4480	4177	- 213	- 4,9	-	-
0,2	1	4210	4320	4480	4337	- 53	- 1,2	160	3,8
0,2	0,5	4210	4480	4640	4443	53	1,2	266	6,4
0,2	0,2	4370	4480	4800	4550	160	3,6	373	8,9
0,2	0	4210	4160	4480	4283	- 107	- 2,4	106	2,5
0,25	1	4050	4320	4320	4230	- 160	- 3,6	53	1,3
0,25	0,5	4210	4480	4640	4443	53	1,2	266	6,4

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,25	0,2	4530	4640	4800	4657	267	6,1	480	11,5
0,25	0	4370	4160	4640	4390	0	0,0	213	5,1
0,33	1	3730	4000	4320	4017	- 373	- 8,5	- 160	- 3,8
0,33	0,5	4210	4320	4640	4390	0	0,0	213	5,1
0,33	0,2	4530	4640	4800	4657	267	6,1	480	11,5
0,33	0	4370	4320	4640	4443	53	1,2	266	6,4
Примечание – v – доля поливов с введением ЭХАВ; n – индекс анолита (доля анолита по отношению к общему объему подачи ЭХАВ с капельным орошением за полив).									

Опытами установлено, что суммарное водопотребление томатов существенно зависит от применения ЭХАВ и определяется технологией ее использования (таблица 3). На контрольном варианте, без использования ЭХАВ, с применением интегрированной системы защиты растений (контроль 0-уровня), суммарное водопотребление в среднем составило 5393 м³/га с вариацией по годам исследований от 5280 до 5500 м³/га. На контроле 1-уровня, без использования ЭХАВ и без применения химических средств защиты растений группы фунгицидов, суммарное водопотребление томатов в среднем не превышало 5210 м³/га, а по годам исследований изменялось от 5040 до 5340 м³/га. В вариантах с применением ЭХАВ суммарное водопотребление томатов в зависимости от технологии ее использования при поливе изменялось в среднем от 5060 до 5703 м³/га. Как видно, вариация суммарного водопотребления томатов по вариантам опыта в 2,5-3,0 раза превышает амплитуду изменения суммарного водопотребления по годам исследований.

Таблица 3 – Водопотребление и продуктивность томатов при капельном орошении с электрохимической активацией оросительной воды

v	n	Суммарное водопотребление, м ³ /га				Урожайность, т/га
		2010 г.	2011 г.	2012 г.	Среднее	
1	2	3	4	5	6	7
С использованием фунгицидов (контроль 0-уровня)						
0	-	5400	5280	5500	5393	90,2
Без фунгицидов						
Без ЭХАВ (контроль 1-уровня)		5340	5040	5250	5210	79,6

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
0,2	1	5340	5210	5340	5297	87,0
0,2	0,5	5400	5390	5520	5437	90,6
0,2	0,2	5580	5450	5630	5553	93,5
0,2	0	5380	5240	5330	5317	81,2
0,25	1	5220	5140	5210	5190	84,1
0,25	0,5	5400	5390	5500	5430	89,8
0,25	0,2	5740	5530	5730	5667	97,6
0,25	0	5550	5320	5440	5437	85,4
0,33	1	4980	5080	5120	5060	78,5
0,33	0,5	5350	5350	5450	5383	87,1
0,33	0,2	5790	5580	5740	5703	97,5
0,33	0	5590	5360	5440	5463	87,3
НСР ₀₅ , т/га						2,68
Примечание – ν – доля поливов с введением ЭХАВ; n – индекс анолита (доля анолита по отношению к общему объему подачи ЭХАВ с капельным орошением за полив).						

Результаты регрессионного анализа суммарного водопотребления и урожайности томатов при орошении с использованием ЭХАВ показали, что зависимость «вода–урожайность» носит выраженный линейный характер (рисунок 1). При изменении продуктивности томатов от 78,5 до 97,6 т/га суммарное водопотребление возрастало с 5060 до 5703 м³/га.

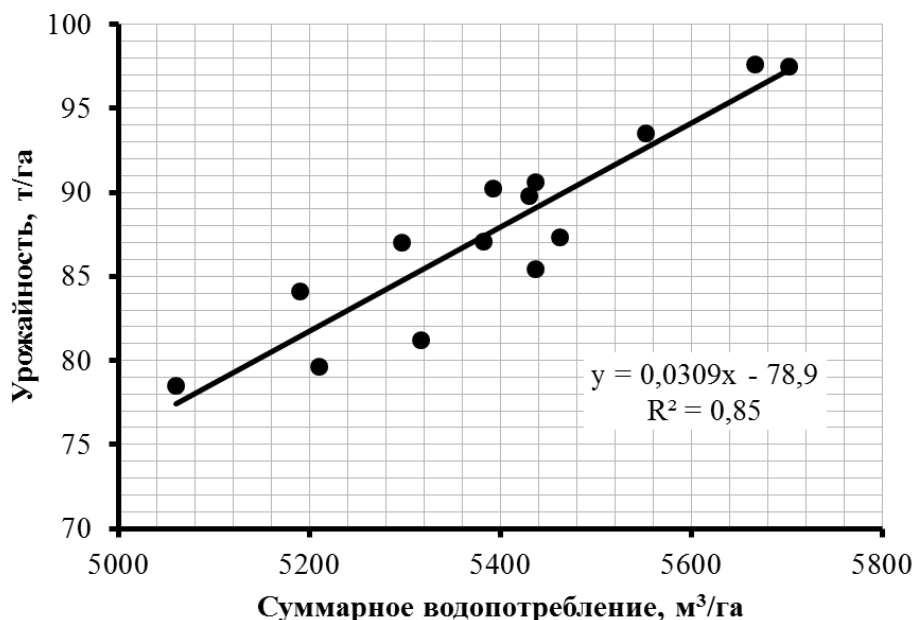


Рисунок 1 – Зависимость «вода–урожайность» для томатов при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды

В тоже время полученные данные свидетельствуют о возможности снижения затрат воды на формирование урожая за счет оптимизации элементов технологии применения ЭХАВ при капельном орошении томатов (таблица 4).

Таблица 4 – Коэффициенты водопотребления и биоклиматические коэффициенты томатов при капельном орошении в зависимости от изучаемых факторов

v	n	Коэффициент водопотребления, м ³ /т				Биоклиматический коэффициент, мм/°С
		2010 г.	2011 г.	2012 г.	Среднее	
С использованием фунгицидов (контроль 0-уровня)						
0	-	61,4	57,1	61,0	59,9	0,198
Без фунгицидов						
Без ЭХАВ (контроль 1-уровня)		67,4	62,8	66,1	65,4	0,194
0,2	1	62,5	59,1	61,2	60,9	0,197
0,2	0,5	61,7	57,9	60,6	60,1	0,199
0,2	0,2	61,1	57,4	59,8	59,4	0,202
0,2	0	67,2	63,7	65,7	65,5	0,196
0,25	1	63,0	60,3	62,0	61,7	0,196
0,25	0,5	61,9	58,9	60,8	60,5	0,200
0,25	0,2	60,0	55,7	58,5	58,1	0,204
0,25	0	66,5	61,1	63,4	63,7	0,198
0,33	1	64,6	64,0	64,8	64,5	0,195
0,33	0,5	62,8	60,4	62,4	61,8	0,198
0,33	0,2	60,6	55,7	59,2	58,5	0,205
0,33	0	65,3	60,2	62,4	62,6	0,199
Примечание – v – доля поливов с введением ЭХАВ; n – индекс анолита (доля анолита по отношению к общему объему подачи ЭХАВ с капельным орошением за полив).						

Введение в первый и последующие каждый пятый полив анолита в объеме 50 % от поливной нормы поочередно с применением природной оросительной воды позволило снизить расход воды на формирование урожая в среднем до 60,9 м³/т. Это на 6,9 % меньше, чем на контроле 1-уровня, где для полива использовали только природную оросительную воду.

При поочередном использовании анолита и католита (анолит–природная вода–католит) для полива томатов в соотношении 1:1 коэффициент водопотребления в среднем за три года исследований составил 60,1 м³/га, что на 8,1 % ниже, чем на контроле, но почти не отличается

от затрат воды на участках, где поочередно применяли анолит и природную оросительную воду.

Последовательное снижение доли анолита в общем объеме используемой для полива ЭХАВ до 0,2 (соотношение 1:4) обеспечило снижение коэффициента водопотребления томатов до 59,4 м³/т, что на 9,2 % эффективнее контрольного варианта.

Таким образом, введение с поливом анолита обеспечило до 4,5 м³/т экономии оросительной воды, и этот эффект усиливался при последовательном снижении доли анолита в общем объеме активированной воды сначала до 0,5, а потом и до 0,2. Однако введение поочередно с природной оросительной водой исключительно католита существенно снизило водосберегающий эффект, коэффициент водопотребления томатов увеличился до 65,5 м³/т, что сравнимо с эффективностью расходования воды на контрольном варианте.

На участках, где ЭХАВ применяли первый и каждый четвертый, а также первый и каждый третий полив, общая закономерность изменения коэффициента водопотребления томатов с последовательным сокращением доли вводимого анолита сохранялась (рисунок 2). Приведенные на графике кривые имеют экстремум в одной точке – с долей (индексом) анолита в общем объеме вводимой активированной воды, равной 0,2 (соотношение анолит–католит 1:4).

Опыты показали, что использование ЭХАВ с соотношением анолита и католита 1:4 наиболее эффективно с повторением в каждый четвертый полив. Коэффициент водопотребления томатов при этом снижается в среднем до 58,1 м³/т, что на 11,2 % меньше, чем на контрольном варианте 1-уровня. Дальнейшее увеличение частоты проведения поливов с введением ЭХАВ повышения эффективности использования водных ресурсов не обеспечивало: коэффициент водопотребления томатов составил в среднем 58,5 м³/т. Получается, что распределение опытных данных имеет четко

определенный оптимум использования воды на формирование урожая томатов, который определяется:

- использованием ЭХАВ с первым и каждым четвертым вегетационным поливом;

- поочередным (анолит–природная вода–католит) использованием анолита и католита для проведения полива в соотношении 1:4.

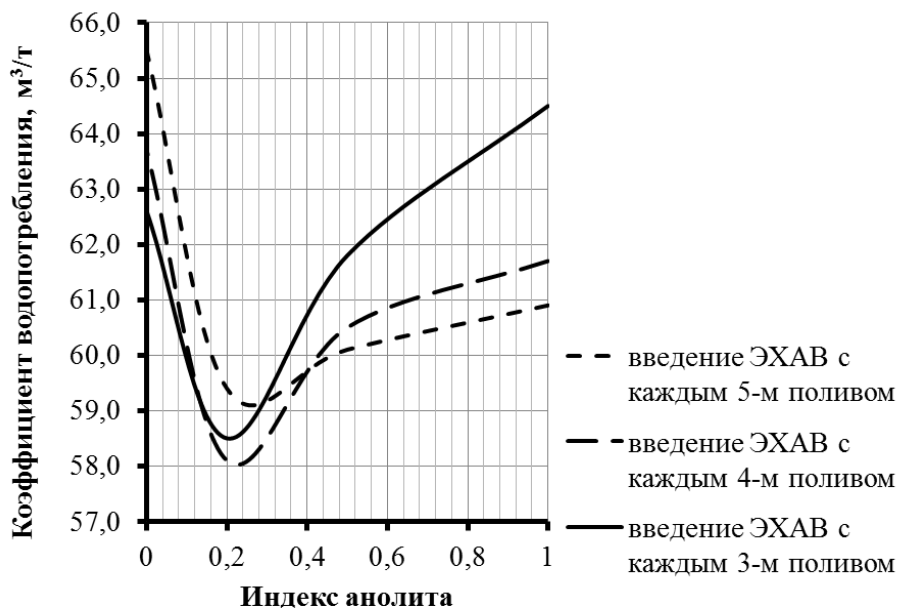


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента водопотребления томатов от соотношения анолита и католита в общем объеме электрохимически активированной воды, подаваемой с поливом

Решение задачи прогнозирования суммарного водопотребления проводили на основе метода биоклиматических коэффициентов. Для этого были определены уточненные значения биоклиматических коэффициентов для томатов, возделываемых при капельном орошении с электрохимической активацией оросительной воды. Приведенные значения коэффициентов (таблица 4) вычислены по температуре воздуха и позволяют прогнозировать суммарное водопотребление томатов с минимально доступной агрометеорологической информацией.

В течение вегетационного периода значения биоклиматических коэффициентов испарения влаги томатами изменялись по одновершинной

кривой, с минимумом в начальные периоды после высадки рассады, последующим постепенным ростом и максимумом в фазу активного плодообразования и созревания 1-й завязи плодов. График и зависимость для расчета внутривегетационных значений биоклиматических коэффициентов испарения влаги томатами приведены на рисунке 3:

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

где K_i – индекс внутривегетационного значения биоклиматических коэффициентов испарения влаги томатами, в процентах к средневзвешенному значению биоклиматических коэффициентов за вегетационный период;

T – вегетационный период, в процентах к общей продолжительности.

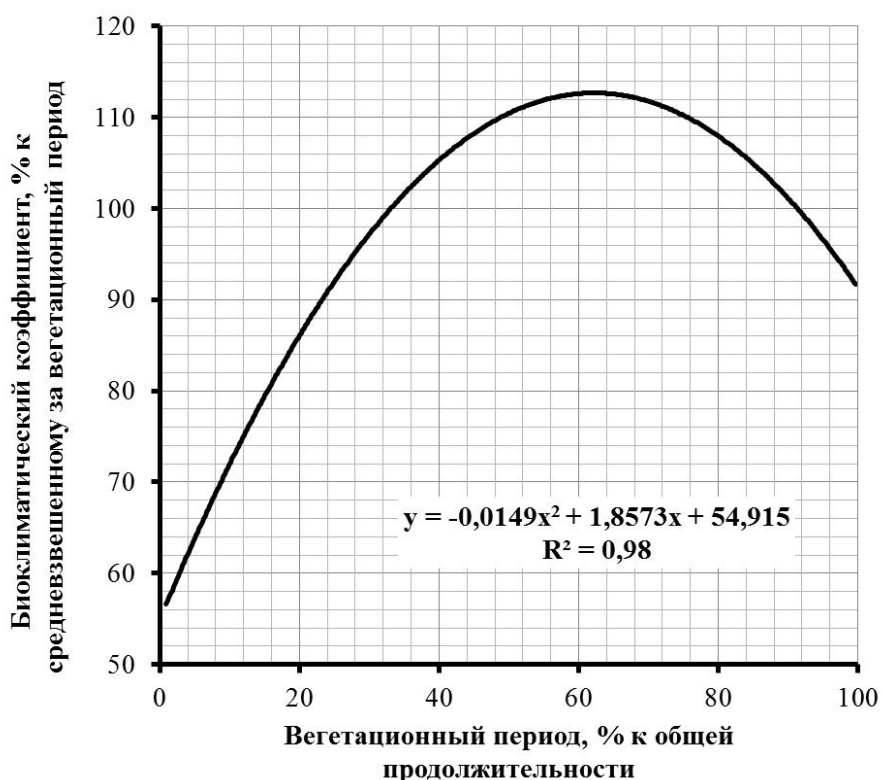


Рисунок 3 – График изменения значений биоклиматических коэффициентов томатами в течение вегетационного периода

Особенностью предложенной зависимости является то, что величина коэффициентов определяется в процентах от среднего за вегетационный период. Аргументом предложенной зависимости является продолжительность периода от высадки рассады, причем шкала аргумента также представлена в

процентах от продолжительности вегетационного периода. Такой подход позволяет моделировать непрерывное распределение значений биоклиматических коэффициентов испарения влаги внутри вегетационного периода исходя из его средневзвешенных за этот период значений. При этом следует учитывать, что средние за вегетационный период значения биоклиматических коэффициентов также непостоянны и изменяются в зависимости от условий, регулируемых в соответствии с программой эксперимента.

Анализ опытных данных показал, что использование ЭХАВ при капельном орошении томатов сопровождается активизацией расхода воды томатами в расчете на накопленную сумму среднесуточных температур воздуха (таблица 4). В сравнении с контролем 1-уровня (без использования ЭХАВ и фунгицидов) значения биоклиматических коэффициентов возрастали на 1,0-5,5 %. Наибольший расход влаги в расчете на сумму среднесуточных температур воздуха, 0,202-0,205 мм/°С, был отмечен на участках, где полив осуществляли с применением ЭХАВ и поочередным введением анолита и католита (анолит–природная вода–католит) в пропорции 1:4 (вариант В3). На участках, где анолит и католит применяли поочередно в пропорции 1:1 (вариант В2), значения биоклиматических коэффициентов испарения влаги томатами, 0,198-0,200 мм/°С, были на уровне общего контроля (0-уровня).

Результаты регрессионного анализа опытных данных подтвердили существование тесной зависимости биоклиматических коэффициентов испарения влаги томатами от технологии применения ЭХАВ при капельном орошении. Значения биоклиматических коэффициентов изменялись как при увеличении интервала между поливами с применением ЭХАВ, так и в зависимости от схемы применения активированной воды в процессе полива. Полученные результаты явились основанием для разработки статистической модели влияния исследуемых элементов технологии применения ЭХАВ с капельным орошением на величину биоклиматических коэффициентов томата. Последовательная отбраковка статистически несущест-

венных и слабых компонентов модели позволила нам получить следующую форму зависимости (рисунок 4):

$$K_{\delta} = a + bv + cn + dv^2 + en^2 + fvn + gv^3 + hn^3 + ivn^2 + jv^2n, \quad (2)$$

где K_{δ} – биоклиматический коэффициент испарения влаги томатами, рассчитанный по сумме среднесуточных температур воздуха;

v – доля поливов с введением ЭХАВ;

n – доля анолита по отношению к общему объему подачи ЭХАВ 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.

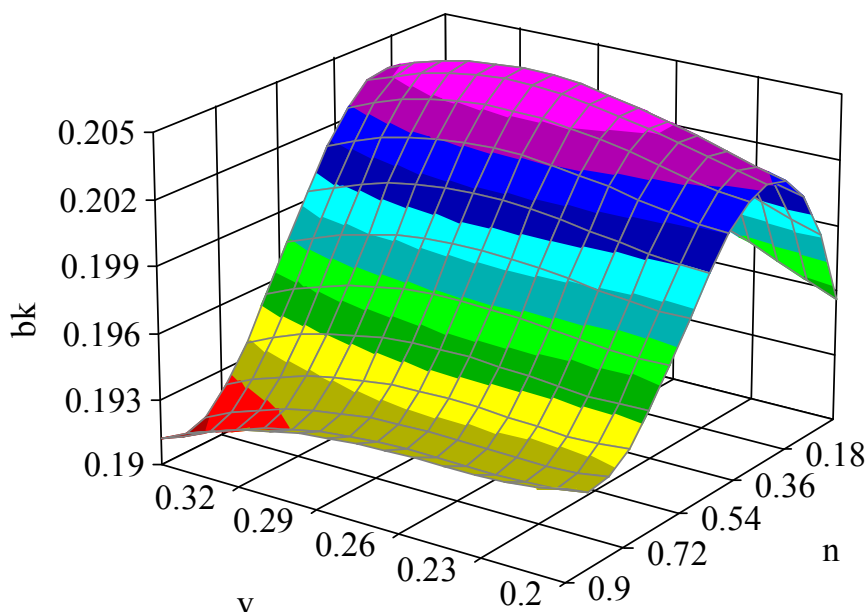


Рисунок 4 – График зависимости для корректировки средневзвешенных значений биоклиматических коэффициентов в зависимости от технологии применения электрохимически активированной оросительной воды при капельном орошении томатов

Таким образом, совокупное использование зависимостей (1) и (2) позволяет рассчитать значения биоклиматического коэффициента для любого периода роста и развития томатов с учетом влияния фактора электрохи-

мической активации оросительной воды на интенсивность водопотребления. Зависимости могут быть использованы для решения задач оперативного планирования и оценки потребности в проведении очередного полива томатов в рамках общеизвестных расчетных схем и алгоритмов [4, 5].

Выводы. Суммарное водопотребление томатов, наряду с агрометеорологическими условиями, существенно зависит от уровня развития и состояния посева в течение вегетационного периода и определяется его общей продуктивностью. При изменении продуктивности томатов от 78,5 до 97,6 т/га суммарное водопотребление возрастало с 5060 до 5703 м³/га, зависимость «вода–урожайность» – линейная. В тоже время использование электрохимической активации оросительной воды при капельном орошении позволяет существенно снизить расход водных ресурсов в расчете на формирование единицы продукции. Общая закономерность изменения эффективности использования воды на формирование урожая при использовании ЭХАВ для полива томатов выражается следующим:

- наиболее эффективно на формирование урожая вода расходуется при поочередном введении анолита и католита за полив. Снижение доли анолита при поочередном введении противоположно заряженных компонентов активированной воды до 0,2 (соотношение анолит–католит 1:4) способствует существенному росту эффективности использования воды на формирование урожая;

- увеличение частоты применения анолита при поочередном введении с природной оросительной водой снижает эффективность использования воды на формирование урожая и повышает коэффициент водопотребления томатов. Увеличение частоты применения католита при поочередном введении с природной оросительной водой повышает эффективность использования воды на формирование урожая и снижает коэффициент водопотребления томатов. Увеличение доли проведения поливов с активированной водой до 0,25 при поочередном (анолит–природная вода–католит)

введении анолита и католита в пропорции 1:4 повышает эффективность использования воды на формирование урожая. При дальнейшем повышении частоты применения активированной воды значения коэффициента водопотребления томата сохраняются.

Использование метода биоклиматических коэффициентов позволяет производить надежный прогноз суммарного водопотребления и решать задачи оперативного планирования режима орошения томатов при использовании минимальной агрометеорологической информации. Для определения численных значений биоклиматических коэффициентов в любой период роста и развития томатов с учетом влияния фактора электрохимической активации оросительной воды на интенсивность водопотребления предлагается использовать установленные регрессионные зависимости.

Список использованных источников

1 Прилуцкий, В. И. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия / В. И. Прилуцкий, В. М. Бахир. – М.: ВНИИМТ, 1995. – 228 с.

2 Продуктивность томатов при капельном орошении с использованием электрохимически активированной воды [Электронный ресурс] / С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, Е. И. Чушкина, А. Н. Чушкин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 2(14). – 14 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=252&id=253>.

3 Абезин, В. Г. Оросительные системы с модулем активации воды / В. Г. Абезин, С. Я. Семененко // Научная жизнь. – 2012. – № 3. – С. 126-131.

4 Шабанов, В. В. Оптимальное управление поливами при эксплуатации оросительных систем: рекомендации / В. В. Шабанов, Ю. М. Землянов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 56 с.

5 Методические указания и нормативы разработки систем управления экологической устойчивостью орошаемых агроландшафтов / И. П. Кружилин, В. Ф. Мамин, А. Г. Болотин [и др.]. – М.: Россельхозакадемия, 2007. – 105 с.

Чушкина Елена Ивановна – начальник отдела информационных технологий, Поволжский научно-исследовательский институт эколого-мелиоративных технологий, Волгоград, Российская Федерация.

Контактный телефон: 8(8442) 54-13-89.

E-mail: pniemt.otdel.3@yandex.ru

Chushkina Yelena Ivanovna – Head of the Department of Information Technologies, Volga Research Institute of Ecological and Amelioration Technologies, Volgograd, Russian Federation.

Contact telephone number: 8(8442) 54-13-89.

E-mail: pniemt.otdel.3@yandex.ru