

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.67:635.64

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-1-17

Программное обеспечение для расчета режима орошения томатов открытого грунта

Георгий Трифионович Балакай¹, Ирина Владимировна Гурина²,
Федор Геннадьевич Тагиров³

^{1, 2, 3}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

²i-gurina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4045-3480>

³ftagirov@yandex.ru

Аннотация. Цель: автоматизация расчетов режима орошения томатов открытого грунта на основе разработанного программного обеспечения. **Материалы и методы.** В основу положена методика расчета и корректировки режима орошения томатов, включающая определение суммарного испарения и влагозапасов в почве, сроков и количества поливов расчетным методом с использованием математической модели, основанной на взаимосвязи между биоклиматическими коэффициентами и суммой среднесуточных температур или испаряемостью на поле нарастающим итогом от начала вегетации культуры и до периода созревания, а также результаты районирования Крыма по условиям влагообеспеченности. **Результаты и обсуждение.** Для автоматизации вычислений был разработан алгоритм расчета влагозапасов в почве во взаимосвязи с испаряемостью, который был реализован в программном обеспечении Microsoft Excel. Биоклиматические коэффициенты водопотребления определялись с учетом суммы температур выше 12 °С и испаряемости нарастающим итогом от всходов семян или высадки рассады. Полученные расчетные зависимости для определения биоклиматических коэффициентов водопотребления томатов открытого грунта, возделываемых в различных по влагообеспеченности зонах Крыма, с высокой достоверностью аппроксимации позволяют рассчитывать и корректировать режим орошения для лет с различной обеспеченностью осадками. С помощью программного обеспечения рассчитан проектный режим орошения томатов открытого грунта, включающий поливную и оросительную нормы, кратность поливов, которые были определены в зависимости от коэффициента увлажнения территории и года 50, 75 или 95 % обеспеченности осадками. **Выводы.** Эффективное возделывание сельскохозяйственных культур, а особенно овощей, во многом зависит от применяемых режимов орошения. Повышение точности расчетов основных элементов режима орошения за счет применения современного программного обеспечения позволит оптимизировать использование водных ресурсов для получения запланированной продуктивности.

Ключевые слова: режим орошения, томаты, поливная норма, оросительная норма, полив, сроки полива, количество поливов, алгоритм, метеопараметры, биоклиматический коэффициент, влагозапасы, водопотребление

Для цитирования: Балакай Г. Т., Гурина И. В., Тагиров Ф. Г. Программное обеспечение для расчета режима орошения томатов открытого грунта // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 1–17. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-1-17>.



LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Software for calculating the irrigation regime of tomatoes in open ground

Georgiy T. Balakay¹, Irina V. Gurina², Fedor G. Tagirov³

^{1,2,3}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

²i-gurina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4045-3480>

³ftagirov@yandex.ru

Abstract. Purpose: automation of calculations of the irrigation regime for open ground tomatoes based on the developed software. **Materials and methods.** The basis is a methodology of calculating and adjusting the irrigation regime of tomatoes, including determination of the total evaporation and soil moisture, the timing and quantity of irrigation using the calculation method with a mathematical model based on the relationship between bioclimatic coefficients and the sum of average daily temperatures or evaporation on the field on an accrual total from the beginning of the crop growing season to the ripening period, as well as the results of the Crimea zoning according to moisture conditions. **Results and discussion.** To automate the calculations, an algorithm for calculating soil moisture in relation to evaporation, which was implemented in Microsoft Excel software was developed. Bioclimatic coefficients of water consumption were determined taking into account the sum of temperatures above 12 °C and evaporation on an accrual total from sprouting or sowing seedlings. The obtained calculated dependencies for determining the bioclimatic coefficients of water consumption of open ground tomatoes cultivated in different moisture supply zones of the Crimea, make it possible to calculate and adjust the irrigation regime for years with different precipitation levels with high approximation reliability. Using the software, the design regime for irrigation of open ground tomatoes including watering and irrigation rates, frequency of irrigation, which were determined on the moisture coefficient of the territory and the year of 50, 75 or 95 % precipitation was calculated. **Conclusions.** Effective cultivation of agricultural crops, and especially vegetables, largely depends on the irrigation regimes used. Increasing the accuracy of calculations of the main elements of the irrigation regime through the use of modern software will allow optimizing the water resources use to achieve the planned productivity.

Keywords: irrigation regime, tomatoes, watering rate, irrigation rate, watering, irrigation timing, number of irrigations, algorithm, meteorological parameters, bioclimatic coefficient, moisture reserves, water consumption

For citation: Balakay G. T., Gurina I. V., Tagirov F. G. Software for calculating the irrigation regime of tomatoes in open ground. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(2):1–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-1-17>.

Введение. Томат можно отнести к культурам, предъявляющим умеренные требования к почвенной влажности. Вместе с тем активный рост вегетативных органов и плодов этой культуры происходит при содержании воды в клетках и тканях растений не ниже 80–90 %. В течение вегетации потребность растений томата во влаге различна. Она существенно возрас-

тает в период прорастания семян, а также во время цветения, завязывания и формирования плодов томата. Дефицит влагообеспеченности в эти периоды приводит к потере продуктивности. Вместе с тем избыточное увлажнение также негативно влияет на урожайность томатов: растения поражаются различными болезнями и вредителями, сроки созревания плодов увеличиваются, ухудшается их товарность из-за растрескивания и загнивания [1–9].

В регионах с недостаточной естественной влагообеспеченностью, к числу которых относится и Республика Крым, ее дефицит при возделывании сельскохозяйственных культур необходимо восполнять орошением. В современных условиях томаты открытого грунта поливаются дождеванием или капельным орошением. В нашей стране производство томатов в открытом грунте рентабельно и при дождевании, и при капельном орошении [10].

Эффективность орошения сельскохозяйственных культур во многом определяется применением научно обоснованных режимов орошения, под которыми понимается совокупность поливных норм, количества поливов и сроков их проведения. В связи с этим, установление величин поливных норм, сроков поливов весьма актуально для сельскохозяйственного производства [11–13].

В настоящее время сроки проведения поливов устанавливаются различными методами: по влажности почвы, по фазам роста и развития растений, по морфологическим признакам и др. [12, 13]. Широко распространено определение сроков вегетационных поливов по влажности почвы, в частности, с помощью термостатно-весового метода, который считается наиболее достоверным. Однако он очень трудозатратен, поэтому в настоящее время применяется только при проведении НИР. В последние годы влажность почвы определяют также с помощью датчиков (тензиометров и др.), устанавливаемых в расчетном слое. Но поскольку они размещаются локально, это не позволяет получать информацию о влажности почвы всего орошаемого участка. Наряду с вышеперечисленными, применяются рас-

четные методы, которые позволяют установить сроки полива сельскохозяйственных культур с использованием метеорологических показателей (осадки, относительная влажность воздуха, среднесуточная температура воздуха, скорость ветра и др.), а также данных о почвенных влагозапасах на начало вегетационного периода¹ [12–16] с последующей их корректировкой по показателям ежесуточного суммарного испарения.

Теоретическое обоснование методологии расчета водопотребления, а также рекомендации по практическому применению изложены в выпусках ФАО 24² и ФАО 56 [17].

Применение современного программного обеспечения существенно упрощает подобные расчеты, увеличивает их точность, что позволяет оптимизировать использование водных ресурсов для получения запланированной продуктивности возделываемой культуры.

В связи с этим, цель исследований состояла в автоматизации расчетов режима орошения томатов открытого грунта на основе разработанного программного обеспечения.

Материалы и методы. Методологической основой послужила разработанная методика расчета влагозапасов почвы и корректировки режима орошения томатов, включающая определение сроков и количества поливов расчетным методом с использованием математической модели, основанной на взаимосвязи между биоклиматическими коэффициентами и суммой среднесуточных температур или испаряемостью на поле нарастающим итогом от начала вегетации культуры и до периода созревания. Значения испарения (эвапотранспирации) определяются по метеопараметрам за сутки или подекадно с использованием биоклиматических коэффициентов водопотребления, установленных в зависимости от суммы среднесуточных темпера-

¹Данильченко Н. В. Методические указания по расчету водопотребления и оросительных норм с.-х. культур в Нечерноземной зоне РСФСР. Коломна, 1981. 120 с.

²Водопотребление сельскохозяйственных культур. Доклад по ирригации и дренажу ФАО. Рим, 1977. 147 с.

тур или испаряемости нарастающим итогом от всходов семян или высадки рассады. Полученные уравнения регрессии с высокой достоверностью аппроксимации позволяют рассчитывать и корректировать поливной режим томатов открытого грунта для лет различной обеспеченности осадками [18, 19].

Также было выполнено районирование Крыма по условиям тепло- и влагообеспеченности. Территория Крыма по теплообеспеченности в основном пригодна для успешного выращивания культуры томата за исключением предгорных районов с суммой активных температур менее 2300 °С. Районирование территории Крыма по влагообеспеченности было выполнено по показателю коэффициента увлажнения (k_y), представляющего собой отношение имеющихся ресурсов влаги к испаряемости за биологически активный сезон года. По влагообеспеченности вегетационного периода на территории республики предлагаем выделять шесть зон. Была построена карта-схема изолиний k_y и установлено, что основная часть Крыма расположена в степной зоне – от сухостепной ее разновидности, где значения k_y варьируют от 0,35 до 0,40, до умеренно сухой степи со значениями k_y в диапазоне 0,41–0,50 (рисунок 1).

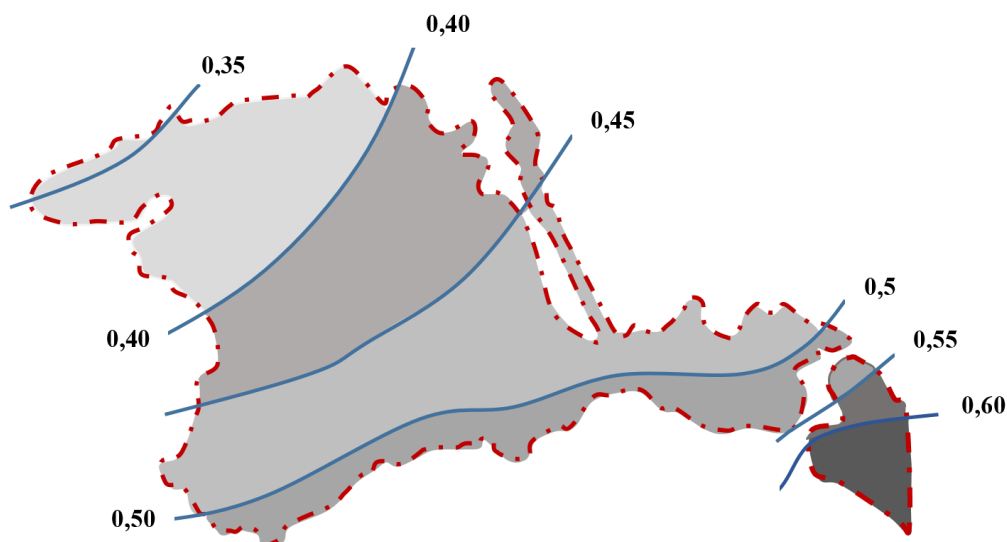


Рисунок 1 – Районирование Республики Крым по коэффициенту увлажнения
Figure 1 – Regionalization of the Republic of Crimea by moisture coefficient

Результаты и обсуждение. Для автоматизации расчетов сроков полива томатов открытого грунта был разработан алгоритм, представленный на рисунке 2.

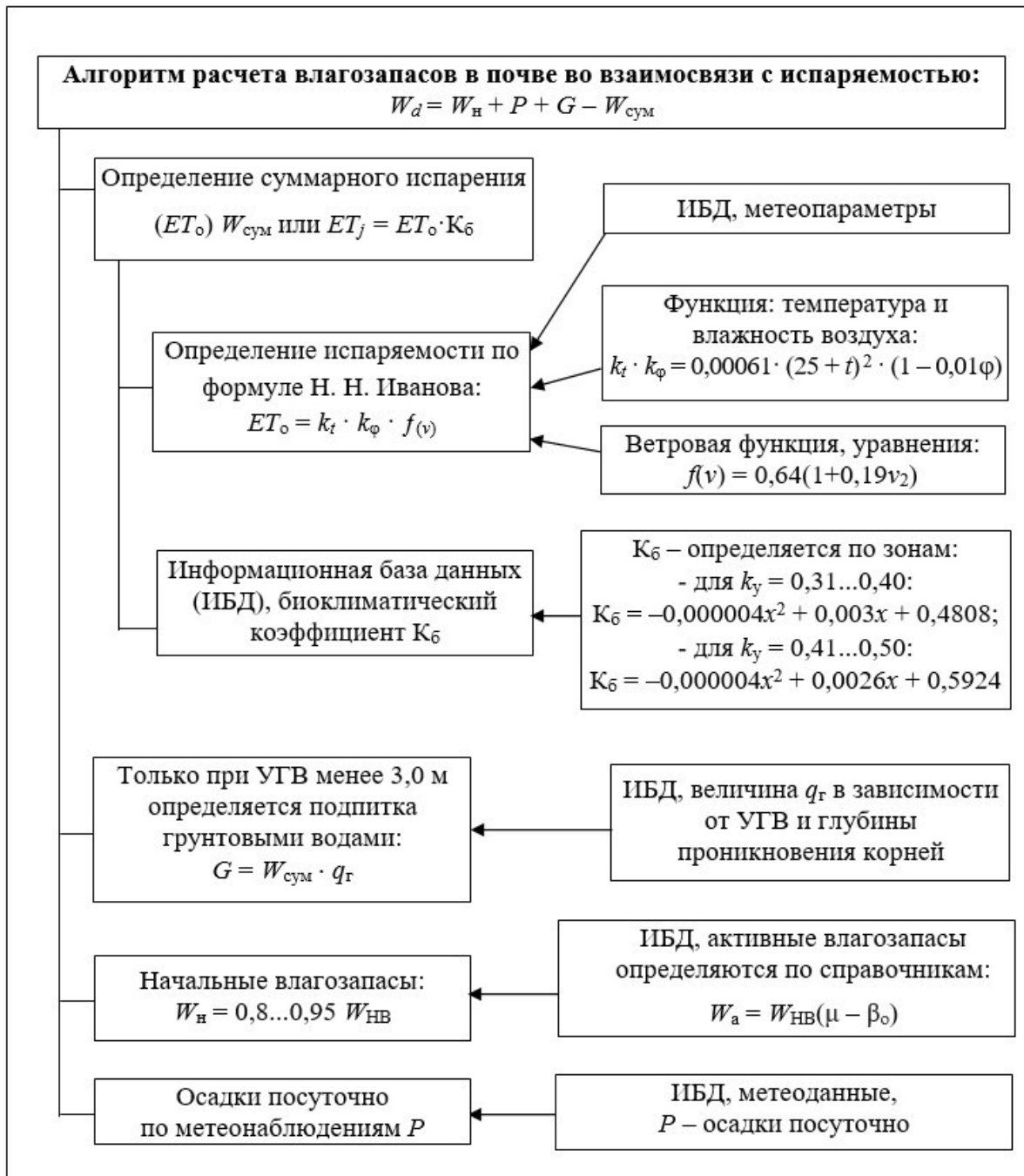


Рисунок 2 – Алгоритм расчета почвенных влагозапасов [18]

Figure 2 – Algorithm for calculating soil moisture [18]

Биоклиматические коэффициенты водопотребления (K_6) для томатов, возделываемых в условиях открытого грунта, были определены по зонам увлажнения Республики Крым по данным проведенных исследований и методом аналогии по рекомендациям ГОСТ Р 58331.3-2019³.

При расчете биоклиматических коэффициентов учитывались показатели:

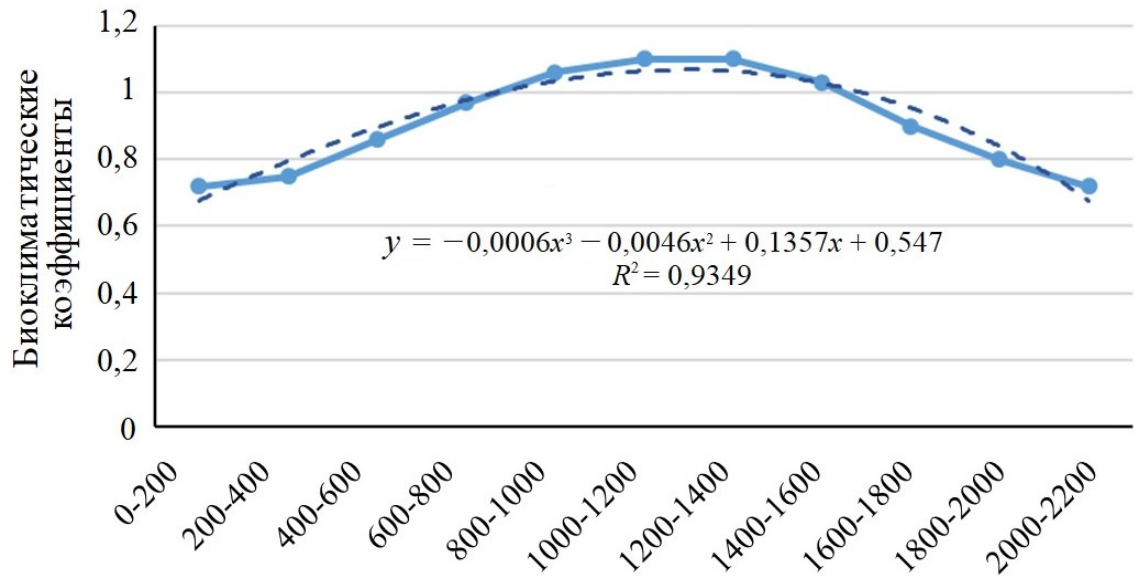
- суммы среднесуточных температур более 12 °С нарастающим итогом от всходов семян или высадки рассады;
- испаряемость среднесуточная нарастающим итогом от всходов семян или высадки рассады.

Расчетные зависимости для определения биоклиматических коэффициентов водопотребления томатов открытого грунта, возделываемых в различных по влагообеспеченности зонах Крыма ($k_y = 0,31...0,50$), приведены на рисунках 2 и 3. На основе алгоритма (рисунок 1) и полученных расчетных зависимостей (рисунки 3 и 4) было разработано программное обеспечение, реализованное в Microsoft Excel [19].

Расчет испарения (водопотребления) и изменения влагозапасов в почве приведен в таблице 1. Сроки поливов определяются расчетным методом по метеопараметрам (осадки, среднесуточные: температура воздуха, относительная влажность почвы и скорость ветра) с использованием разработанного программного обеспечения (рисунок 5). Пример расчета представлен в таблице 1.

Проектный режим орошения томатов открытого грунта, включающий поливную и оросительную нормы, кратность поливов, рассчитанные в зависимости от коэффициента увлажнения территории и года обеспеченности осадками, приведен в таблице 2.

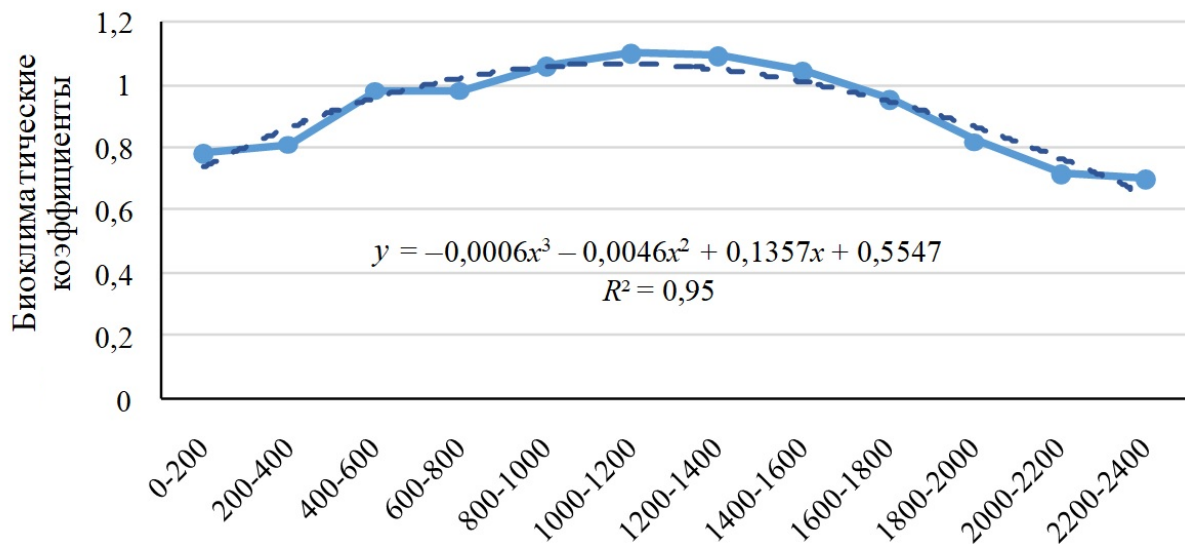
³ГОСТ Р 58331.3-2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования. Введ. 2019-07-01. М.: Стандартинформ, 2019. 32 с.



Сумма температур нарастающим итогом от начала вегетации, °С

a) зона сухих степей ($k_y = 0,31...0,40$)

a) zone of dry steppes ($k_u = 0,31...0,40$)



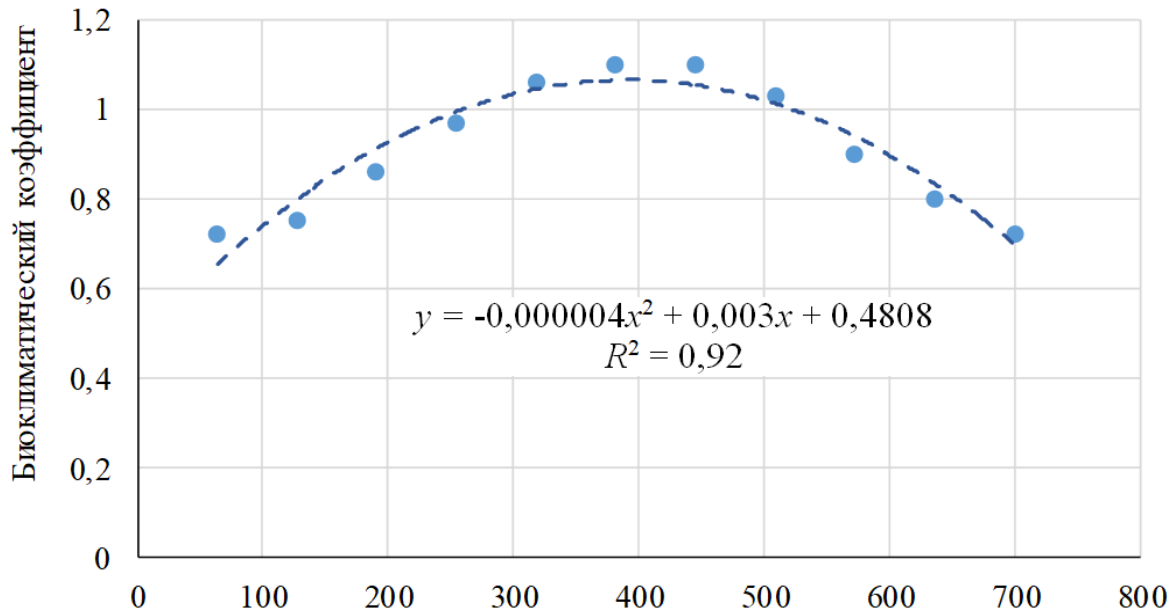
Сумма температур нарастающим итогом от начала вегетации, °С

b) зона умеренных степей ($k_y = 0,41...0,50$)

b) zone of temperate steppes ($k_u = 0,41...0,50$)

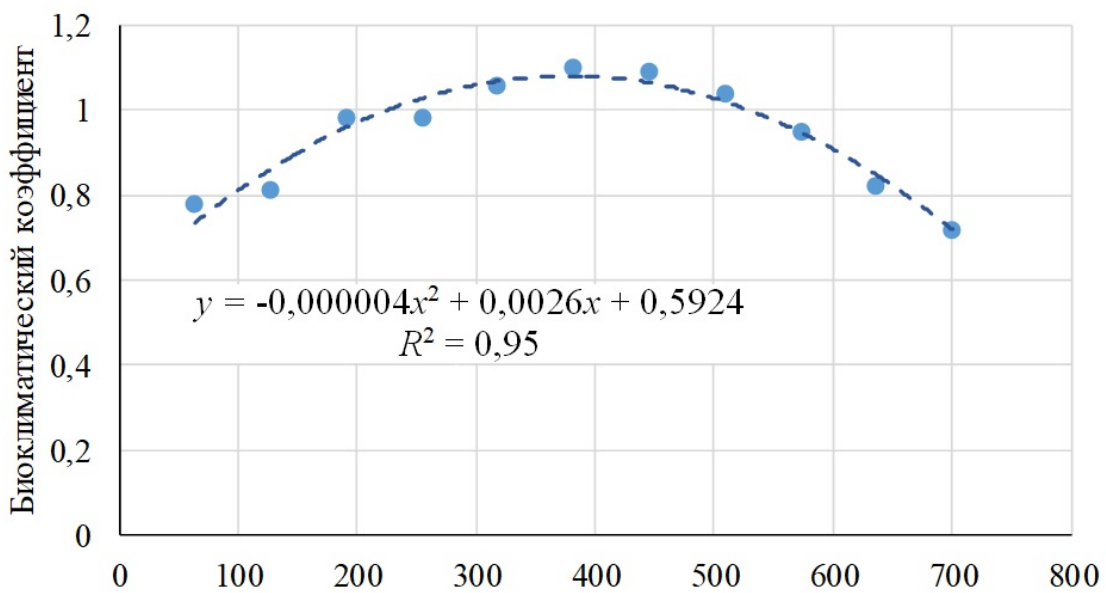
Рисунок 3 – Кривые биоклиматических коэффициентов водопотребления томатов во взаимосвязи с суммой среднесуточных температур нарастающим итогом от начала вегетации (всходов или высадки рассады)

Figure 3 – Curves of bioclimatic coefficients of tomato water consumption in relation to the sum of average daily temperatures on an accrual total from the beginning of the growing season (sprouting or sowing seedlings)



a) зона сухих степей ($k_y = 0,31...0,40$)

a) zone of dry steppes ($k_u = 0.31...0.40$)



b) зона умеренных степей ($k_y = 0,41...0,50$)

b) zone of temperate steppes ($k_u = 0.41...0.50$)

Рисунок 4 – Кривые биоклиматических коэффициентов водопотребления томатов во взаимосвязи с суммой испаряемости нарастающим итогом от начала вегетации (всходов или высадки рассады)

Figure 4 – Curves of bioclimatic coefficients of tomato water consumption in relation to the evaporation amount on an accrual total from the beginning of the growing season (sprouting or sowing seedlings)

Таблица 1 – Пример расчета сроков полива, водопотребления культуры, водного баланса на опытном поле в Белогорском районе Республики Крым с использованием программного обеспечения Microsoft Excel

Table 1 – An example of calculating the timing of irrigation, crop water consumption, water balance on an experimental field in Belogorsk region of the Republic of Crimea using Microsoft Excel software

Дата (число, месяц, год)	Метеопараметр, среднесуточный				Сумма температур нарастающим итогом, °С	Биоклиматический коэффициент томатов	Водопотребление за сутки, мм	Продуктивные влагозапасы в расчетном слое почвы, мм		Срок полива. Назначается полив расчетной нормой при снижении влагозапасов до порога увлажнения 80 % НВ (73 мм)	Оросительная норма нарастающим итогом, мм
	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/с	Осадки (эффективные), мм				Начало вегетации	Изменение влагозапасов		
10.05.2022	22	80	4,5	0	22	0,65	2,1	95,9	93,2		
11.05.2022	23	75	4,0	0	45	0,65	2,4	–	90,8		
...									...		
25.05.2022	24,5	77	5,8	5	335	0,68	3,1	–	73,8	40	40
26.05.2022	22,8	81	5,4	0	358	0,68	3,0	–	110,8		
....									...		
09.06.2022	25,4	65	4,1	0	580	0,72	3,3		78,4		
10.06.2022	24,2	64	3,8	0	604,2	0,72	3,1		75,3		
11.06.2022	25,6	68	4,5	5	629,8	0,73	3,4		71,9	40	80
...								

Программа расчет сроков полива томатов по метеопараметрам - Excel

Рисунок 5 – Фрагмент программы «Расчет сроков полива томатов системами капельного орошения по метеопараметрам»

Дата	T, °C	U, %	P, мм	f, м/с	P _{эф} , мм	ET _{ор} , мм	ΣET _{ор} , мм	k _{ET}	ET, мм	W _ф , мм	Полив, мм	Номер полива
25.04.2022	15,4	35	0,0	3	0,0	0,7	0,7	0,5	0,3	131,6		
26.04.2022	17,2	44	0,0	4	0,0	0,7	1,3	0,5	0,6	130,9		
27.04.2022	18,8	52	0,5	2	0,4	0,5	1,8	0,5	0,9	130,4		
28.04.2022	17,9	37	0,0	4	0,0	0,8	2,6	0,5	1,3	129,2		
29.04.2022	23,4	38	0,0	8	0,0	1,4	4,1	0,5	2,0	127,2		
30.04.2022	22,4	33	0,0	6	0,0	1,3	5,3	0,5	2,6	124,6		
01.05.2022	21,3	42	4,1	4	2,9	0,9	6,2	0,5	3,0	124,5		
02.05.2022	23,6	32	0,0	6	0,0	1,3	7,5	0,5	3,6	120,9		
03.05.2022	24,5	33	0,0	5	0,0	1,2	8,8	0,5	4,3	131,6	15	1
04.05.2022	23,7	35	0,0	7	0,0	1,4	10,2	0,5	5,0	126,6		
05.05.2022	22,1	48	0,0	4	0,0	0,8	11,0	0,5	5,4	121,3		
06.05.2022	21,1	80	12,7	5	8,9	0,3	11,3	0,5	5,5	124,7		
07.05.2022	24,3	74	0,0	6	0,0	0,5	11,8	0,5	5,8	133,9	15	2
08.05.2022	25,7	65	0,0	3	0,0	0,6	12,4	0,5	6,1	127,8		
далее - до конца вегетации												

Рисунок 5 – Фрагмент программы «Расчет сроков полива томатов системами капельного орошения по метеопараметрам»
Figure 5 – Fragment of the program “Calculation of timing of tomato watering with drip irrigation systems according to meteorological parameters”

**Таблица 2 – Проектный режим орошения томатов системами
 капельного орошения в различных зонах
 Республики Крым**

**Table 2 – Design conditions of irrigation of tomatoes by drip irrigation
 systems in various zones of the Republic of Crimea**

Коэффициент увлажнения k_y	Оросительная и поливная норма нетто и кратность поливов за сезон при обеспеченности года P , %		
	Оросительная норма, м ³ /га	Кратность поливов, шт.	Полвиная норма, м ³ /га
$P = 50\%$			
0,3–0,4	1580	13,2	120
0,41–0,5	620	6,2	100
0,51–0,6	210	2,6	80
$P = 75\%$			
0,3–0,4	2400	15,0	160
0,41–0,5	1640	14,9	110
0,51–0,6	660	6,6	100
$P = 95\%$			
0,3–0,4	3280	18,2	180
0,41–0,5	2580	19,8	130
0,51–0,6	1040	9,5	110

Выводы. Эффективное возделывание сельскохозяйственных культур, а особенно овощей, на орошаемых землях во многом зависит от применяемых режимов орошения. Повышение точности расчетов основных элементов режима орошения за счет применения современного программного обеспечения позволит оптимизировать использование водных ресурсов при получении запланированной продуктивности. Предложена методика расчета и корректировки режима орошения томатов по метеопараметрам, основанная на определении методом водного баланса запасов влаги в почве и суточного водопотребления. Установлены биоклиматические коэффициенты водопотребления для томатов, возделываемых в различных зонах Республики Крым. Предложен алгоритм расчета влагозапасов в почве. Разработанная последовательность операций расчета реализована в прикладном программном обеспечении Microsoft Excel, позволяющем определять проектный режим орошения томатов в зависимости от коэффициента увлажнения территории и года обеспеченности осадками и оперативно корректировать режим орошения томатов открытого грунта.

Данная разработка предназначена для сельскохозяйственных предприятий различных форм собственности и физических лиц, занимающихся производством томатов.

Список источников

1. Научные основы формирования продуктивности и качества томата: монография / Т. С. Астарханова, Е. Н. Пакина, Н. Г. Андреева, И. Р. Астарханов, М. Заргар. Махачкала, 2018. 136 с. EDN: YSAMYR.
2. Тютюма Н. В., Плескачѳв Ю. Н., Анишко М. Ю. Фертигация томатов при капельном орошении в условиях Северного Прикаспия // Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2021. № 1. С. 12–15. DOI: 10.32935/2221-7312-2021-47-1-12-15. EDN: SAYIQY.
3. Анишко М. Ю., Губина Л. В., Роменская О. Н. Продуктивность томата в открытом грунте в условиях Северного Прикаспия // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1(45). С. 6–11. DOI: 10.52671/20790996_2021_1_6. EDN: MGFVAE.
4. Ахмедова П. М., Алилов М. М. Особенности минерального питания растений томата при капельном орошении в условиях открытого грунта // Овощи России. 2017. № 1(34). С. 46–49. EDN: YKODGH.
5. Эффективность комплексного применения удобрений и капельного орошения при выращивании томата в условиях Московской области / Д. И. Енгальчев, Н. А. Енгальчева, А. М. Меньших, С. С. Пастухова // Орошаемое земледелие. 2019. № 2. С. 15–16. DOI: 10.35809/2618-8279-2019-2-4. EDN: FGXXRB.
6. Рекомендации по технологии возделывания овощных культур в открытом и закрытом грунтах для условий Ростовской области / Р. С. Масный, С. М. Васильев, А. Н. Бабичев, В. А. Монастырский, В. И. Ольгаренко, Д. П. Сидаренко, А. А. Бабенко. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2021. 56 с. EDN: QFCCDH.
7. Водный режим томата при капельном орошении и дождевании в засушливой зоне Астраханской области / Л. П. Ионова, А. С. Бабакова, Р. А. Арсланова, Н. Д. Смашевский // Астраханский вестник экологического образования. 2018. № 5(47). С. 83–89. EDN: YCKDCH.
8. Инновационные технологии орошения овощных культур: коллектив. моногр. / А. Ю. Федосов, А. М. Меньших, М. И. Иванова, А. А. Рубцов. М.: Ким Л. А., 2021. 306 с. EDN: MUITOS.
9. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications / P. S. Khapte, P. Kumar, U. Burman, P. Kumar // Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 248. P. 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.006>.
10. Орошение томатов открытого грунта: обзор ресурсосберегающих подходов / И. В. Гурина, А. Н. Бабичев, Ф. Г. Тагиров, А. П. Тищенко // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 176–192. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1300> (дата обращения: 26.05.2023). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-176-192. EDN: JRRYFY.
11. Ольгаренко Г. В., Капустина Т. А., Медведева Е. В. Методические указания по нормированию орошения с учетом корректировки биологических коэффициентов, дифференциации почвенно-климатических условий и пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов. М., 2022. 80 с.
12. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. М.: Колос, 1999. 432 с. EDN: WFINLZ.

13. Балакай Г. Т., Балакай Н. И. Методика расчета и корректировки сроков полива сельскохозяйственных культур // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 1(25). С. 32–49. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=296> (дата обращения: 26.05.2023). EDN: XWNOQV.
14. Козырева Л. В., Доброхотов А. В. Рациональное использование водных ресурсов с автоматизированным расчетом полива посевов на орошаемом поле // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 1. С. 92–107. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-1-6. EDN: IKDXYX.
15. Природная тепло-, влагообеспеченность Центрально-Черноземных областей России и ее влияние на параметры орошения и урожайность / Н. В. Данильченко [и др.]. М., 2000. 170 с.
16. Стулина Г. В., Солодкий Г. Ф. Использование усовершенствованной методики ФАО для оценки водопотребления сельскохозяйственных культур в процессе орошения в Центральной Азии. Ташкент, 2020. 126 с.
17. FAO Irrigation and drainage paper no. 56. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements) [Electronic resource] / R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, M. Smith. Rome, 1998. URL: <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm#Contents> (date of access: 26.05.2023).
18. Балакай Г. Т., Гурина И. В., Тагиров Ф. Г. Методика расчета сроков полива томатов по метеопараметрам в условиях Республики Крым // Инновационные технологии в земледелии и мелиорации на современном этапе развития АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 90-летию каф. земледелия, почвоведения и мелиорации Дагест. гос. аграр. ун-та им. М. М. Джамбулатова. Махачкала, 2022. С. 284–289. EDN: DMRYWZ.
19. Расчет сроков полива томатов системами капельного орошения по метеопараметрам: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023667276 / Балакай Г. Т., Масный Р. С., Гурина И. В., Селицкий С. А., Тагиров Ф. Г.; правообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. Заявка № 2023665470; заявл. 21.07.23; опубл. 14.08.23. EDN: TGJZVU.

References

1. Astarkhanova T.S., Pakina E.N., Andreeva N.G., Astarkhanov I.R., Zargar M., 2018. *Nauchnye osnovy formirovaniya produktivnosti i kachestva tomata: monografiya* [Scientific Basis for the Tomato Productivity and Quality Formation: monograph]. Makhachkala, 136 p., EDN: YSAMYR. (In Russian).
2. Tyutyuma N.V., Pleskachev Yu.N., Anishko M.Yu., 2021. *Fertigatsiya tomatov pri kapel'nom oroshenii v usloviyakh Severnogo Prikaspiya* [Fertigation of tomatoes under drip irrigation in the conditions of the Northern Caspian]. *Teoreticheskie i prikladnye problemy APK* [Theoretical and Applied Problems of Agro-Industrial Complex], no. 1, pp. 12-15, DOI: 10.32935/2221-7312-2021-47-1-12-15, EDN: SAYIQY. (In Russian).
3. Anishko M.Yu., Gubina L.V., Romenskaya O.N., 2021. *Produktivnost' tomata v otkrytom grunte v usloviyakh Severnogo Prikaspiya* [Productivity of tomato in the open ground in the conditions of the Northern Caspian]. *Problemy razvitiya APK regiona* [Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex], no. 1(45), pp. 6-11, DOI: 10.52671/20790996_2021_1_6, EDN: MGFVAE. (In Russian).
4. Akhmedova P.M., Alilov M.M., 2017. *Osobennosti mineral'nogo pitaniya rasteniy tomata pri kapel'nom oroshenii v usloviyakh otkrytogo grunta* [Features of mineral nutrition for tomato plants under drip irrigation in open ground]. *Ovoshchi Rossii* [Vegetable Crops of Russia], no. 1(34), pp. 46-49, EDN: YKODGH. (In Russian).

5. Engalychev D.I., Engalycheva N.A., Menshikh A.M., Pastukhova S.S., 2019. *Effektivnost' kompleksnogo primeneniya udobreniy i kapel'nogo orosheniya pri vyrashchivanii tomata v usloviyakh Moskovskoy oblasti* [The effectiveness of the integrated use of fertilizers and drip irrigation when growing tomatoes in the conditions of Moscow region]. *Oroshaemoe zemledelie* [Irrigated Agriculture], no. 2, pp. 15-16, DOI: 10.35809/2618-8279-2019-2-4, EDN: FGXXRB. (In Russian).

6. Masny R.S., Vasilyev S.M., Babichev A.N., Monastyrsky V.A., Olgarenko V.I., Sidarenko D.P., Babenko A.A., 2021. *Rekomendatsii po tekhnologii vozdeleyvaniya ovoshchnykh kul'tur v otkrytom i zakrytom gruntakh dlya usloviy Rostovskoy oblasti* [Recommendations on Vegetable Crops Cultivation Technology in Open and Closed Ground in Rostov Region]. Novocherkassk, RosNIIPM, 56 p., EDN: QFCCDH. (In Russian).

7. Ionova L.P., Babakova A.S., Arslanova R.A., Smashevsky N.D., 2018. *Vodnyy rezhim tomata pri kapel'nom oroshenii i dozhdevanii v zasushlivoy zone Astrakhanskoj oblasti* [Water regime of tomato under drip irrigation and sprinkling in the arid Astrakhan region zone]. *Astrakhanskiy vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan Bulletin of Environmental Education], no. 5(47), pp. 83-89, EDN: YCKDCH. (In Russian).

8. Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Ivanova M.I., Rubtsov A.A., 2021. *Innovatsionnyye tekhnologii orosheniya ovoshchnykh kul'tur: kollektiv. monogr.* [Innovative Technologies for Vegetable Crops Irrigation: collective monograph]. Moscow, Kim L.A. Publ., 306 p., EDN: MUITOS. (In Russian).

9. Khapte P.S., Kumar P., Burman U., Kumar P., 2019. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. *Scientia Horticulturae*, vol. 248, pp. 256-264, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.006>.

10. Gurina I.V., Babichev A.N., Tagirov F.G., Tishchenko A.P., 2022. [Irrigation of tomatoes in open ground: an overview of resource-saving approaches]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 176-192, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=1300> [accessed 26.05.2023], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-3-176-192, EDN: JRRYFY. (In Russian).

11. Olgarenko G.V., Kapustina T.A., Medvedeva E.V., 2022. *Metodicheskie ukazaniya po normirovaniyu orosheniya s uchetom korrektyrovki biologicheskikh koeffitsientov, differentsiatsii pochvenno-klimaticheskikh usloviy i prostranstvenno-vremennoy izmenchivosti gidrometeorologicheskikh faktorov* [Guidelines for Rationing Irrigation Taking into Account the Adjustment of Biological Coefficients, Differentiation of Soil-Climatic Conditions and Spatio-Temporal Variability of Hydrometeorological Factors]. Moscow, 80 p. (In Russian).

12. Shumakov B.B. (ed.), 1999. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Oroshenie: spravochnik* [Land Reclamation and Water Management. Irrigation: a reference book]. Moscow, Kolos Publ., 432 p., EDN: WFINLZ. (In Russian).

13. Balakay G.T., Balakay N.I., 2017. [Calculation and correction methodologies of crop irrigation schedule]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(25), pp. 32-49, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=296> [accessed 26.05.2023], EDN: XWNOQV. (In Russian).

14. Kozyreva L.V., Dobrokhotov A.V., 2020. *Ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov s avtomatizirovannym raschetom poliva posevov na oroshaemom pole* [Rational use of water resources with automated calculation of the crop irrigation on the irrigated field]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Management of Russia: Problems, Technologies, Management], no. 1, pp. 92-107, DOI: 10.35567/1999-4508-2020-1-6, EDN: IKDXYX. (In Russian).

15. Danilchenko N.V. [et al.], 2000. *Prirodnaya teplo-, vlogoobespechennost' Tsentral'no-Chernozemnykh oblastey Rossii i yeye vliyanie na parametry orosheniya i urozhaynost'* [Natural Heat and Moisture Supply in the Central Black Earth Regions of Russia and Its Influence on Irrigation Parameters and Productivity]. Moscow, 170 p. (In Russian).

16. Stulina G.V., Solodkiy G.F., 2020. *Ispol'zovanie usovershenstvovannoy metodiki FAO dlya otsenki vodopotrebleniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v protsesse orosheniya v Tsentral'noy Azii* [Use of Improved FAO Methods for Assessing Water Consumption of Agricultural Crops during Irrigation in Central Asia]. Tashkent, 126 p. (In Russian).

17. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). Rome, available: <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm#Contents> [accessed 26.05.2023].

18. Balakay G.T., Gurina I.V., Tagirov F.G., 2022. *Metodika rascheta srokov poliva tomatov po meteoparametram v usloviyakh Respubliki Krym* [Methodology for calculating the timing of tomato watering by meteorological parameters under the conditions of the Republic of Crimea]. *Innovatsionnye tekhnologii v zemledelii i melioratsii na sovremennom etape razvitiya APK: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 90-letiyu kafedry zemledeliya, pochvovedeniya i melioratsii Dagestanskogo gos. agrarnogo universiteta im. M. M. Dzhambulatova* [Innovative Technologies in Agriculture and Land Reclamation at the Current Stage of Development of the Agro-Industrial Complex: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation, Dedicated to the 90th Anniversary of the Department of Agriculture, Soil Management and Land Reclamation of Dagestan State Agrarian University named after M. M. Dzhambulatov]. Makhachkala, pp. 284-289, EDN: DMRYWZ. (In Russian).

19. Balakay G.T., Masny R.S., Gurina I.V., Selitsky S.A., Tagirov F.G., 2023. *Raschet srokov poliva tomatov sistemami kapel'nogo orosheniya po meteoparametram* [Calculation of Timing of Tomato Watering with Drip Irrigation Systems Based on Meteorological Parameters]. Certificate of State Registration of Computer Program, no. 2023667276, EDN: TGJZVU. (In Russian).

Информация об авторах

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, balakaygt@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-8021-6853;

И. В. Гурина – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, i-gurina@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4045-3480;

Ф. Г. Тагиров – директор филиала, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация, ftagirov@yandex.ru.

Information about the authors

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, balakaygt@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-8021-6853;

I. V. Gurina – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, i-gurina@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4045-3480;

F. G. Tagirov – Division Director, Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation, ftagirov@yandex.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 22.01.2024; одобрена после рецензирования 12.03.2024;
принята к публикации 26.03.2024.
The article was submitted 22.01.2024; approved after reviewing 12.03.2024; accepted for
publication 26.03.2024.*