

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.6:628.112:635.26

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-22-30

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ РОССИИ

ПЧЕЛКИН ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ¹✉, д-р техн. наук, профессор
9766793@mail.ru

ВЛАДИМИРОВ СТАНИСЛАВ ОЛЕГОВИЧ¹, старший преподаватель
isvo@bk.ru

ЗЯБЛИЦЕВ ДМИТРИЙ ИГОРЕВИЧ¹, аспирант
d.zyablitsev@atalian.ru

АБДЕЛЬ ТАВАБ², канд. техн. наук, доцент
mto252000@yahoo.com

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

² Эль-Загазиг-университет по специальности «Агротехника», Египет

Предметом исследований является разработка метода расчета суммарного водопотребления овощных культур, направленного на увеличение точности его определения, в условиях Нечерноземной зоны России, и экономии водных ресурсов. Объектом исследований являются дерново-подзолистые почвы и почвенная влага овощных культур. Научные исследования проводились в лизиметрах, на опытных делянках и в лаборатории, в годы с различными метеорологическими условиями. При обработке и анализе данных научных исследований применялись физическое моделирование, метод водного баланса, теория перетока грунтовых вод и математической статистики. Опыты в лизиметрах и на делянках в 2010-2015 гг. послужили основой для разработки формулы определения суммарного водопотребления овощных культур. При этом были получены эмпирические коэффициенты для данного уравнения, характеризующие тип почв и климатическую зону. Установлены биологические коэффициенты для столовой свеклы, картофеля, столовой моркови, а также коэффициенты, зависящие от влажности почвы при ее уменьшении ниже оптимальных значений для данных культур. Определено понижение суммарного водопотребления овощных культур в начале и в конце периода вегетации. Приведен график зависимости фактического суммарного водопотребления рассматриваемых культур $E_{ф}$ (данные опытных делянок) с расчетным $E_{р}$ по формуле, показывающий тесную связь между рассматриваемыми признаками. Разработана формула, которую рекомендуем использовать для определения водопотребления овощных культур в Нечерноземной зоне России.

Ключевые слова: суммарное водопотребление, вода, режим орошения, дерново-подзолистая почва, столовая свекла, картофель, столовая морковь

Формат цитирования: Пчёлкин В.В., Владимиров С.О., Зяблицев Д.И., Абдель Таваб. Водопотребление овощных культур в Нечерноземной зоне России // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 22-30. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-22-30.

© Пчёлкин В.В., Владимиров С.О., Зяблицев Д.И., Абдель Таваб., 2022

Данные научные исследования проводились в рамках реализации гранта субсидии Минобрнауки РФ № 075-15-2021-032 от 23 марта 2021 г. на создание и развитие инженерингового центра на базе образовательной организации высшего образования и (или) научной организации в рамках реализации федерального проекта «Развитие инфраструктуры для научных исследований и подготовки кадров» национального проекта «Наука и университеты».

These scientific studies were carried out within the framework of the implementation of a grant in the subsidy of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 075-15-2021-032 of 23.03.2021 for the creation and development of an engineering center on the basis of an educational organization of higher education and (or) a scientific organization as part of the implementation of the federal project «Development of infrastructure for scientific research and personnel training» of the national project «Science and Universities».

Original article

WATER CONSUMPTION OF VEGETABLE CROPS IN THE NON-CHERNOZEM ZONE OF RUSSIA

PCHELKIN VICTOR VLADIMIROVICH^{1✉}, *doctor of technical sciences, professor*
9766793@mail.ru

VLADIMIROV STANISLAV OLEGOVICH¹, *senior lecturer*
isvo@bk.ru

ZYABLITSEV DMITRY IGOREVICH¹, *post graduate student*
d.zyablitsev@atalian.ru

ABDEL TABAB², *candidate of technical sciences, associate professor*
mto252000@yahoo.com

¹Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, ul. Timiryazevskaya, 49. Russia

²El-Zagazig university on the speciality «Agricultural engineering», Egypt

The subject of research is the development of a method for calculating the total water consumption of vegetable crops, aimed at increasing the accuracy of its determination, in the conditions of the Non-Chernozem zone of Russia, and saving water resources. The object of these studies are sod-podzolic soils and soil moisture, vegetable crops. Scientific research was carried out in lysimeters, on experimental plots and in the laboratory, in years with different meteorological conditions. Physical modeling, the method of water balance, the theory of groundwater flow and mathematical statistics were used in the processing and analysis of scientific research. Experiments in lysimeters in plots in 2010... 2015, served as the basis for the development of a formula for determining the total water consumption of vegetable crops. At the same time, empirical coefficients for this equation were obtained, characterizing the type of soils and the climatic zone. Biological coefficients for stem beets, potatoes, table carrots have been established, as well as coefficients depending on soil moisture when it decreases below the optimal values for these crops. A decrease in the total water consumption of vegetable crops at the beginning and end of the growing season was determined. A graph of the dependence of the actual total water consumption of the crops under consideration E_f (data from experimental plots) with the calculated E_p according to the formula is given, showing a close relationship between the considering features. A formula has been developed that we recommend using to determine the water consumption of vegetable crops in the Non-Chernozem zone of Russia.

Keywords: total water consumption, water, irrigation regime, sod-podzolic soil, table beet, potato, table carrot

Format of citation: Pchelkin V.V., Vladimirov S.O., Zyablitsev D.I., Abdel T. Water consumption of vegetable crops in the non-chernozem zone of Russia // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 4. – S. 22-30. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-4-22-30.

Введение. Среднерусская провинция южно-таежной подзоны Нечерноземной зоны России, где проводились научные исследования, включает в себя 9 млн га пашни. При этом 85% данной площади расположено на дерново-подзолистых почвах, 30% которых приурочены к водораздельным территориям.

Основным элементом водного баланса при расчете режима орошения культурных растений является суммарное водопотребление, которое включает в себя испарение с поверхности почвы и транспирацию растений. Физическое испарение определяется внешними факторами: физическими свойствами почв (структурой, температурой почв, влагопроводностью и пористостью) и метеорологическими условиями (интенсивностью и спектральным составом

света, длительностью светового периода, температурой и влажностью воздуха). Транспирация растений зависит как от внешних, так и от внутренних (биологических) факторов [1].

Из литературы известны различные методы определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур в России: А.М. Алпатов, В.П. Остапчик (1971) [1]; М.И. Будыко (1956) [2]; Н.В. Данильченко (1978) [3]; Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, Р.А. Чечко (2017) [4]; А.Р. Константинов (1968) [5]; А.Н. Костяков (1960) [6]; И.В. Ольгаренко, М.С. Эфендиев (2016) [7]; Х.М. Сафин, А.Д. Лукманова, Н.А. Зотова (2016) [8]; С.И. Харченко (1975) [9]; и др.

За рубежом вопросами расчета суммарного водопотребления растений занимались

M.A. Aboamera, S.M. Aly, Y.M. Aha (2000) [10]; A.E. Badr, G.A. Bakeer, M.T. El-Tantawy (2006) [11]; H.M. Eid, N.G. Ainer, M.A. Metwally (1987) [12]; FAO (1985) [13]; F. Klatt (1967) [14]; A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, M.N. Lytov, V.S. Bocharnikov, S.D. Fomin, O.V. Bocharnikova, E.S. Vorontsova (2018) [15]; R. EvettSteven, C. StoneKenneth, C. Schwartz, A. Susan, O'Shaughnessy, D. Paul Colaizzi, K. Scott (2019) [16]; T.K. Zin El-Abedin (2006) [17]; и др.

Анализ известных методов расчета суммарного водопотребления овощных культур на дерново-подзолистых почвах в Центральном районе Нечерноземной зоне РФ показал их недостаточную точность при использовании в рассматриваемых условиях [7]. Поэтому целями исследований, отраженных в статье, являлись разработка эмпирической формулы и уточнение эмпирических биологических коэффициентов и коэффициентов уравнения регрессии на дерново-подзолистых почвах водораздельных территорий Центральной части Нечерноземной зоны России.

Материалы и методы исследований.

Земельные ресурсы Среднерусской провинции, расположенной в южно-таежной подзоне Нечерноземной зоны России, где проводились научные исследования, включают в себя 9 млн га пашни, которая на 85% расположена на дерново-подзолистых почвах, причем 30% этих почв сформировались на водораздельных площадях.

Климат и почвы. Климат Среднерусской провинции характеризуется как умеренно-континентальный с относительно мягкой зимой и теплым, сравнительно влажным летом. Количество атмосферных осадков, выпадающих за год, составляет 550-650 мм. Летом бывают засушливые периоды без дождей, продолжительность которых составляет от 4-6 до 10-30 сут., что вызывает дефицит влаги в почве. Сумма биологически активных температур воздуха колеблется от 1600 до 2200°C, а продолжительность периода вегетации составляет 110-140 дней. На опытном участке средняя температура воздуха за май-сентябрь составила: в 2010 г. – 20,2°C; в 2011 г. – 18,2°C; в 2012 г. – 16,8°C; в 2013 г. – 17,8°C; в 2014 г. – 17,3°C; в 2015 г. – 6,0°C. Атмосферные осадки соответственно по годам составили 103, 195, 239, 189, 183, 252 мм.

По температуре воздуха за май-сентябрь 2010 год оказался жарким; 2011, 2013, 2014 гг. – теплыми; 2012, 2015 гг. – средними. По количеству выпавших осадков 2010 год был острозасушливым; 2011, 2013, 2014 гг. – засушливыми; 2012, 2015 гг. – средними.

В Среднерусской провинции преобладают дерново-подзолистые почвы разной степени оподзоленности и мощности дернового слоя.

Данные источников литературы показывают, что дерново-подзолистые почвы бедны азотом, фосфором, кальцием и содержат 0,8-2% гумуса, кислотность pH – 4,0-5,5, насыщенность основаниями – до 80%. Биологическая активность некультивируемых дерново-подзолистых почв низкая. Значительные площади естественных кормовых угодий и пашни в северо-западном и северо-восточном районах засорены камнями. Нечерноземная зона по гранулометрическому составу представлена суглинками, супесями и песчаными почвами.

Проведенные научные исследования по водно-физическим и агрохимическим свойствам почв показывают следующие результаты. Изменение плотности естественного сложения почвы по площади и глубине составляет 1,37...1,80 г/см³. Плотность пахотного горизонта почвы меньше, а плотность нижних горизонтов выше. Плотность твердой фазы почвы колеблется по глубине в диапазоне от 2,40 до 2,70 г/см³. Изменение пористости почвы составляет 0,43...0,35 в долях от объема (см³/см³). Значения полной влагоемкости (ПВ) колеблются от 0,40 до 0,31 в долях от объема. Изменения предельной полевой влагоемкости (ППВ) составляют 0,37...0,25 в долях от объема (см³/см³). Максимальная гигроскопичность мало меняется по профилю и изменяется от 0,055 до 0,04 в долях от объема. Водопроницаемость почвы опытного участка низкая; коэффициент фильтрации (K_{ϕ}) в верхнем пахотном горизонте составляет 0,23 м/сут., а в более глубоком иллювиальном горизонте (80 см) – 0,42 м/сут.

Изменение содержание гумуса составляет от 1,08 до 3,69%, в среднем по опытному участку – 2,34%. Кислотность почвы по pH_{соль} составила 6,6-7,7. Содержание нитратного азота (NO₃) составило 19,9-25,3 мг/кг, аммонийного (NH₄) – 6,43-13,18 мг/кг, фосфора (P₂O₅) – 6,43-13,18 мг/кг, калия (K₂O) – 55,49-78,62 мг/кг.

Характеристика условий проведения полевых исследований. Исследования проводились на стационарной экспериментальной базе, расположенной на водораздельной территории с дерново-подзолистыми почвами в центре Нечерноземной зоны Российской Федерации Московской области, в Сергиево-Посадском районе. Географические координаты экспериментальной базы – 56°34' северной широты, 38°09' восточной долготы.

Научные исследования проводились на деланках размером 80 м², каждая в трехкратной

повторности. Варианты: 1 – был принят диапазон влажности почвы (0,6-0,7) ПВ (полная влагоемкость); 2 – тоже в диапазоне (0,7-0,8) ПВ; 3 – тоже в диапазоне (0,8-0,9) ПВ; 4 (контроль) – без орошения. Экспериментальный участок расположен на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве на покровном суглинке. При проведении исследований с сельскохозяйственными культурами вносились следующие дозы удобрений: под столовую свеклу – N80P100K90; картофель – N90P120K120; столовую морковь – N100P80K15. Полив осуществлялся с помощью системы орошения RainBird при использовании распылителей с выдвигной частью (модель 1812), расход распылителя – 0,84 м³/ч, радиус полива – 4,5 м.

Была принята за 0,5 м глубина определения влажности почвы на опытных участках. Общая глубина подразделялась на слои по 10 см (всего 5 слоев), в которых проводились замеры электрическим влагомером TRIME-FM с трубчатым датчиком ТЗ. Влагомер тарировали термостатно-весовым методом. Математические и статистические расчеты проводились по программе Microsoft Office Excel-2007. Для определения суммарного водопотребления исследуемых культур использовались круглые металлические лизиметры с поддоном и трубами инфильтрации и компенсации. Высота цилиндров лизиметров без поддонов составляла 1,8 м, а площадь поперечного сечения – 2 м². Лизиметры были установлены с монолитами почвы без нарушения ее структуры. Агрохимические и водно-физические показатели определялись в специализированной лаборатории.

Расчет водопотребления и режима орошения. Суммарное водопотребление столовой свеклы, картофеля, столовой моркови получали с помощью круглых металлических лизиметров с поддоном и трубами компенсации и инфильтрации. Использованы лизиметры следующих параметров: высота без поддона – 1,8 м; площадь поперечного сечения – 2 м². Уравнение водного баланса зоны аэрации лизиметров и расчетного слоя делянок имеет следующий вид, мм:

$$\Delta W = Oc + m \pm q - E, \quad (1)$$

где $\Delta W = W_k - W_n$ – конечные и начальные влагозапасы почвы; Oc – осадки; m – поливная норма; $\pm q$ – водообмен корнеобитаемого слоя почвы с нижерасположенными слоями; $-q$ – инфильтрация влаги в почву; $+q$ – подпитывание зоны аэрации со стороны грунтовых вод; E – суммарное водопотребление исследуемых культур.

Все элементы водного баланса лизиметров, кроме водопотребления, измерялись, а водопотребление столовой свеклы, картофеля,

столовой моркови определялось как невязка уравнения.

Расчет потенциального суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур осуществлялся с помощью зависимости (2), методика получения которой предложена В.В. Пчелкиным (2003) [8]:

$$E_{\Pi} = a \sum_{i=1}^{nd} d_{si}^b, \quad (2)$$

где E_{Π} – потенциальное водопотребление овощных культур, мм/дек.; $\sum d_{si}$ – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха в i -декаду периода вегетации, мб/дек.; nd – количество декад за период вегетации столовой свеклы, картофеля, столовой моркови; a, b – эмпирические коэффициенты, зависящие от климатической зоны, типа почвы и культуры.

Результаты и их обсуждение. Важным элементом при расчете режима орошения является водопотребление. Для его расчета известен целый ряд формул как в России, так и за рубежом. Возможность использовать ту или иную формулу водопотребления овощных культур связана с необходимостью иметь биоклиматические и другие коэффициенты, входящие в формулы. Однако данные коэффициенты были получены в конкретных природно-климатических зонах, для конкретных культур, почв, перенос которых в другие условия ставит задачу по их корректировке и уточнению.

Необходимо отметить, что биологические коэффициенты за декадные периоды для столовой свеклы, картофеля, столовой моркови на дерново-подзолистых почвах водоразделов Нечерноземной зоны России отсутствуют. Существующие методы расчета водопотребления учитывают не в полной мере или совсем не учитывают уровень увлажненности почвы, которая существенно влияет на величину суммарного водопотребления растений.

Получение эмпирических коэффициентов для овощных культур в формуле (2). Поскольку анализ известных формул расчета водопотребления овощных культур для условий проведения исследований показал, что ни одна из них не дала результатов необходимой точности [8], возникла задача получить эмпирическую формулу по расчету водопотребления овощных культур на дерново-подзолистых почвах водораздельных территорий Нечерноземной зоны РФ.

При использовании данных потенциального суммарного водопотребления столовой свеклы, картофеля, столовой моркови и дефицита влажности воздуха за декадные периоды были составлены статистические ряды для каждой культуры, получены уравнения регрессии. При этом использовали степенную функцию.

Результаты связи потенциального суммарного водопотребления овощных культур с суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха за 2010-2015 гг. представлены на рисунках 1-3.

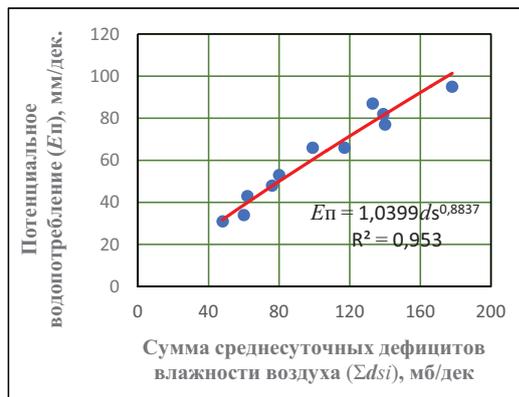


Рис. 1. Связь потенциального водопотребления столовой свеклы ($E_{п}$) с суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха (Σds_i)

Fig.1. Relationship of potential water consumption of table beets ($E_{п}$) with the sum of average daily humidity deficits (Σds_i)

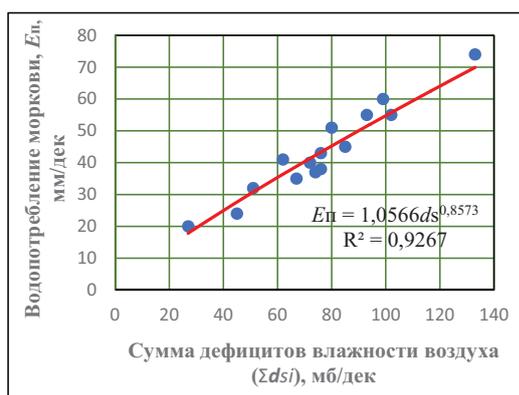


Рис. 2. Связь потенциального водопотребления столовой моркови ($E_{п}$) с суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха (Σds_i)

Fig. 2. Relationship of potential water consumption of table carrots ($E_{п}$) with the sum of average daily humidity deficits (Σds_i)

Коэффициент корреляции этой связи составляет: для столовой свеклы – $0,976 \pm 0,059$; для картофеля – $0,947 \pm 0,08$; для столовой моркови – $0,959 \pm 0,073$. Коэффициент детерминации составляет соответственно $0,95$; $0,90$; $0,93$. Это означает, что в 95, 90, 93% случаев колебания потенциального суммарного водопотребления столовой свеклы, картофеля, столовой моркови в рассматриваемых условиях обусловлены колебаниями дефицита влажности воздуха.

Связь потенциального водопотребления овощных культур с суммой среднесуточного

дефицита влажности воздуха определялась за период вегетации: для столовой свеклы – 2010-2011 гг.; для столовой моркови – 2011-2013 гг.; для картофеля – 2013-2015 гг.

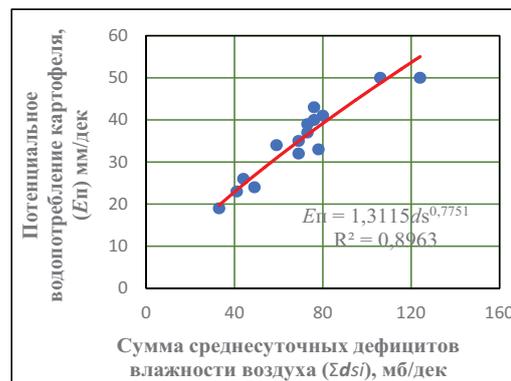


Рис. 3. Связь потенциального водопотребления картофеля ($E_{п}$) с суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха (Σds_i)

Fig. 3. Relationship of potential water consumption of potatoes ($E_{п}$) with the sum of average daily humidity deficits (Σds_i)

Необходимо учитывать, что в статистические ряды были включены декадные значения суммарного водопотребления овощных культур в периоды с хорошо развитой корневой системой и листовым аппаратом.

Значения эмпирических коэффициентов a и b представлены в таблице 1.

Таблица 1
Эмпирические коэффициенты a и b

Table 1
Empirical coefficients a and b

Коэффициенты Coefficients	Сельскохозяйственные культуры Agricultural crops		
	Столовой свеклы Table beets	Картофель Potatoes	Столовой моркови Table carrot
a	1,04	1,31	1,06
b	0,88	0,78	0,86

Определение биологических коэффициентов для овощных культур представлено в формуле (2). При расчете водопотребления необходимо учитывать биологические особенности исследуемых культур. С этой целью в формулу (2) необходимо включить биологические коэффициенты, которые определялись по формуле (3):

$$k_6 = \frac{E_{\phi}}{E_{п}}, \quad (3)$$

где E_{ϕ} – водопотребление овощных культур, определенное по водному балансу лизиметров, мм/дек.; $E_{п}$ – потенциальное суммарное водопотребление овощных культур, рассчитанное по формуле (2), мм/дек.

Для аппроксимации экспериментальных значений биологических коэффициентов столовой свеклы, столовой моркови были составлены статические ряды с 1 по 10 декады периода вегетации соответственно для 2010-2011 и 2011-2013 гг., а картофеля – с 1 по 9 декады периода вегетации соответственно для 2013-2015 гг. Определялись зависимости между номером декады и биологическими коэффициентами.

Таким образом, были получены уравнения регрессии для столовой свеклы, картофеля и столовой моркови (4-6).

$$k_b = -0,008x^2 + 0,0903x + 0,7778; \quad (4)$$

$$k_b = -0,0155x^2 + 0,1569x + 0,6617; \quad (5)$$

$$k_b = -0,0111n^2 + 0,1278n + 0,6494, \quad (6)$$

где k_b – биологические коэффициенты овощных культур; n – номер декады периода вегетации.

Коэффициент корреляции связи биологических коэффициентов овощных культур (k_b) с номером декады периода вегетации (n) равен: столовой свеклы $0,90 \pm 0,108$ (4); столовой моркови – $0,908 \pm 0,079$ (5); картофеля – $0,90 \pm 0,072$ (6). Это говорит о тесной связи между биологическими коэффициентами овощных культур (k_b) и номером декады периода вегетации (n).

Результаты расчетов биологических коэффициентов овощных культур по уравнениям (4), (5), (6) сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Биологические коэффициенты овощных культур по декадам

Table 2

Biological coefficients of vegetable crops by decades

Сельскохозяйственная культура <i>Agricultural crop</i>	Номер декады / <i>Number of decade</i>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Столовая свекла / <i>Table beets</i>	0,86	0,93	0,98	1,01	1,03	1,03	1,02	0,99	0,94	0,88
Картофель / <i>Potatoes</i>	0,80	0,91	0,99	1,04	1,06	1,05	1,00	0,93	0,82	-
Столовая морковь / <i>Table carrots</i>	0,77	0,87	0,93	0,98	1,01	1,02	1,01	0,97	0,91	0,83

При введении в формулу (2) значений биологических коэффициентов овощных культур формула для расчета суммарного водопотребления приобретает следующий вид, мм:

$$E_p = k_0 a \sum_{i=1}^{nd} d_{si}^b. \quad (7)$$

Определение коэффициентов, учитывающих отклонение влажности почвы от оптимальных значений, представлено в формуле (7).

Помимо биологических особенностей, суммарное водопотребление растений зависит также от влажности корнеобитаемого слоя почвы. С целью учета влажности почвы в формуле (7) следует ввести соответствующий коэффициент (k_w).

Для получения зависимостей коэффициента снижения влажности почвы $k_w = E_i / E_{\max}$ свеклы столовой, картофеля и моркови столовой от относительной влажности дерново-подзолистой почвы $W_{от} = W_{ср} / ПВ$ были составлены статистические ряды и получены уравнения регрессии (8), (9), (10):

$$k_w = -7,7274W_{от}^2 + 11,502W_{от} - 3,2857; \quad (8)$$

$$k_w = -9,608W_{от}^3 + 16,708W_{от}^2 - 7,5019W_{от} + 1,206; \quad (9)$$

$$k_w = -2,9101W_{от}^2 + 4,6087W_{от} - 0,8343. \quad (10)$$

Коэффициенты корреляции данных связей равны: для свеклы столовой – $0,99 \pm 0,0745$;

для картофеля – $0,912 \pm 0,094$; для моркови столовой – $0,943 \pm 0,093$.

Значения коэффициентов, учитывающих снижение влажности почвы при расчете водопотребления исследуемых культур, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы

Table 3

Coefficients that take into account the decrease in soil moisture

Влажность почвы <i>Soil moisture</i>	Сельскохозяйственные культуры <i>Agricultural crops</i>		
	Свёклы столовой <i>Table beets</i>	Картофеля <i>Potatoes</i>	Моркови столовой <i>Table carrots</i>
0,8-0,9 ПВ	1	1	1
0,75 ПВ	1	0,94	1
0,7 ПВ	0,96	0,85	0,98
0,65 ПВ	0,91	0,76	0,94
0,60 ПВ	0,80	0,65	0,89
0,55 ПВ	0,70	0,54	0,81
0,5 ПВ	0,53	0,43	0,74
0,45 ПВ	-	-	0,65

В итоге эмпирическая формула для расчета водопотребления овощных культур имеет следующий вид:

$$E_p = k_w k_o a \sum_{i=1}^{nd} d_{si}^b \quad (11)$$

На рисунках 4-6 представлены графики сходимости фактического водопотребления овощных культур с расчетным по формуле (11). Коэффициенты корреляции для различных культур равны: свеклы столовой – $0,954 \pm 0,0642$; картофеля – $0,958 \pm 0,0593$; моркови столовой – $0,988 \pm 0,0335$. Это говорит о тесной связи между рассматриваемыми признаками.

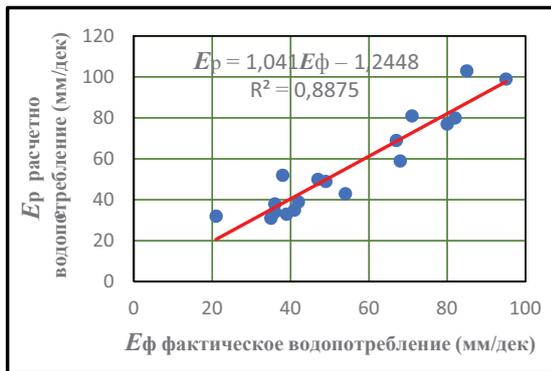


Рис. 4. Сходимость фактического водопотребления свеклы столовой с расчетным по формуле (11)

Fig. 4. Convergence of actual water consumption of table beets with the calculated formula (11)

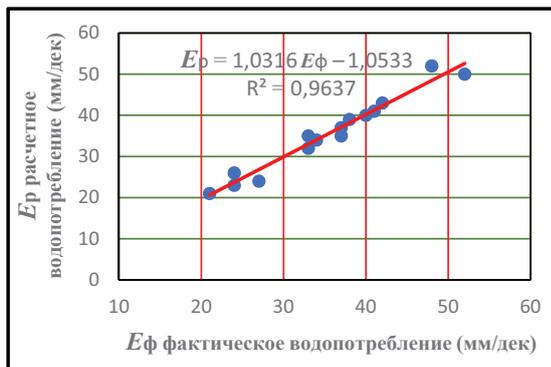


Рис. 5. Сходимость фактического водопотребления моркови столовой с расчетным по формуле (11)

Fig. 5. Convergence of actual water consumption of table carrots with the calculated according to the formula (11)

Таким образом, результаты, представленные на рисунках 4-6, а также тесная корреляционная связь между рассматриваемыми признаками позволяют рекомендовать эмпирическую формулу (8) для расчета суммарного водопотребления овощных культур при определении

их режима орошения на дерново-подзолистых почвах в Нечерноземной зоне РФ.

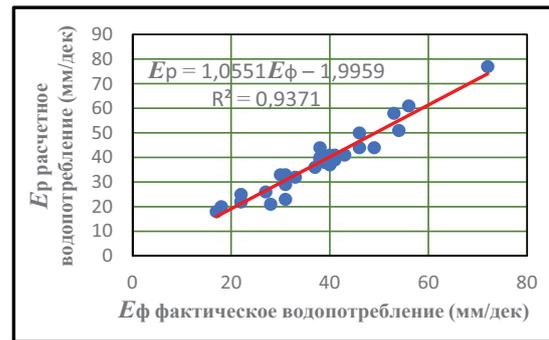


Рис. 6. Сходимость фактического водопотребления моркови столовой с расчетным по формуле (11)

Fig. 6. Convergence of actual water consumption of table carrots with the calculated according to the formula (11)

Выводы

С целью повышения производства овощей в Центральной части Нечерноземной зоны России необходима мелиорация орошаемых земель, способ полива – дождевание.

Проведенные исследования уникальны, потому что на дерново-подзолистых почвах водоразделов Центральной части Нечерноземной зоны России при выращивании столовой свеклы, картофеля, столовой моркови разработана формула для расчета суммарного водопотребления исследуемых культур. При этом получены цифровые данные по эмпирическим и биологическим коэффициентам, а также коэффициентам, учитывающим снижение влажности почвы ниже оптимальных значений.

Эмпирические коэффициенты следует применять в зависимости от вида сельскохозяйственных культур: столовой свеклы – $a-1,04$, $b-0,88$; картофеля – $a-1,31$, $b-0,78$; столовой моркови – $a-1,06$, $b-0,86$. Биологические коэффициенты должны быть дифференцированы в зависимости от периода вегетации кормовых культур. В случае снижения влажности почвы ниже оптимальных пределов необходимо применять коэффициенты, учитывающие уровень снижения влажности почвы и вид сельскохозяйственной культуры. Результаты расчетов по эмпирической формуле должны быть сопоставлены с данными полевых экспериментов.

В результате проведенных исследований научное сообщество получило формулу расчета суммарного водопотребления овощных культур на дерново-подзолистых почвах водоразделов Центральной части Нечерноземной зоны России и новые, ранее неизвестные научные знания.

Проектным фирмам рекомендуется использовать формулу для расчета суммарного водопотребления исследуемых культур, эмпирические, биологические коэффициенты и коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы. Фермерам рекомендуется

использовать результаты научных исследований при эксплуатации оросительных систем.

Планируется расширить научные исследования с другими сельскохозяйственными культурами и иными способами полива.

Библиографический список

1. Алпатьев А.М., Остапчик В.П. К обоснованию формирования поливных норм с использованием биоклиматического метода расчета суммарного испарения // Мелиорация и водное хозяйство. – 1971. – Вып. 19. – С. 13-17.
2. Бudyko М.И. Тепловой баланс земной поверхности. – Л.: Гидрометеоздат, 1956. – 256 с.
3. Данильченко Н.В. Методические особенности расчета оросительных норм с.-х. культур в НЧЗ РСФСР. // Техника и технология механизированного орошения. – М., 1982. – С. 177-186.
4. Дубенок Н.Н. Малоинтенсивное дождевание картофеля в Нижнем Поволжье: Монография / Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, Р.А. Чечко. – М.: Проспект, 2017. – 176 с.
5. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. – С. 307-319.
6. Костяков А.Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960 – С. 54-62.
7. Ольгаренко И.В., Эфендиев М.С. Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов // Мелиорация и водное хозяйство // Материалы научно-практической конференции: Сборник научных трудов. – Новочеркасск: «Лик», 2016. – С. 50-53.
8. Пчёлкин В.В. Обоснование мелиоративного режима осушаемых пойменных земель. – М.: КолосС, 2003. – 253 с.
9. Сафин Х.М., Лукманова А.Д., Зотова Н.А. Оптимизация режима орошения люцерны на сено в почвенно-климатических условиях Башкортостана // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 1. – С. 3-7. – URL: <https://rucont.ru/efd/391422> (дата обращения: 28.07.2021).
10. Харченко С.И. Управление водным режимом на мелиорируемых землях в Нечерноземной зоне. – М.: Гидрометеоздат, 1987. – С. 206-208.
11. Aboamera M.A., Aly S.M., Aha Y.M. Water relation of pepper grown in polymer treated sandy soil under drip irrigation system // Misr J. Ag. Eng. – 2000. – № 17(1). – Pp. 125-147.
12. Badr A.E., Bakeer G.A., El-Tantawy M.T. and A.H. Awwad. (2006). Sprinkler and trickle irrigation affected by climatic conditions in upper Egypt // Misr J. Ag. Eng. – 2006. – № 23(2). – Pp. 346-361.
13. Eid H.M., Ainer N.G., Metwally M.A. (1987). Estimation of irrigation and temperature needs for the new pods in Egypt Conf // of Agri. Sci. On food Deficiency Overcoming Through Autonomous Efforts in Egypt Manssoura Univ. – 1987. – Pp. 907-914.
14. FAO. (1985). Introduction to Irrigation. Irrigation Water Management // Training Manual. – 1985. – № 1.
15. Klatt F. Die Steuerung den Berechnungsnachdem Berechnungsdiagramm // Z. Landeskultur. – 1967. – № 2. – Pp. 89-98.
16. Optimum control model of soil water regime under irrigation / A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev,

References

1. Alpatjev A.M., Ostapchik V.P. K obosnovaniyu formirovaniya polivnyh norm s ispolzovaniem bioklimaticeskogo metoda rascheta sumrnogo isparenija // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 1971. – Vyp. 19. – S. 13-17.
2. Budyko M.I. Teplovoj balans zemnoj poverhnosti. – L.: Gidrometeoizdat, 1956. – 256 s.
3. Danilchenko N.V. Metodicheskie osobennosti rascheta orositelnyh norm s.-h. kultur v NCHZ RSFSR. // V kn.: Tehnika i tehnologiya mehanizirovanogo orosheniya. – M., 1982. – S. 176-186.
4. Dubenok N.N., Borodychev V.V., Chечko R.A. Malointensivnoe dozhdovanie kartofelya v Nizhnem Povolzhje: monografiya. – M.: Prospekt, 2017. – 176 s. ISBN 978-5-392-24871-1.
5. Konstantinov A.R. Isparenije v prirode. Gidrometeoizdat. – L.: 1968. – S. 307-319.
6. Kostyakov A.H. Osnovy melioratsii. – M.: Selhozgiz, 1960 – S. 54...62.
7. Olgarenko I.V., Efendiev M.S. Summarnoe vodopotreblenie selskohozyajstvennyh kultur v usloviyah defitsita vodnyh resursov // Sb. Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. Materialy nauchno-prakt. konf. – Novocher-kassk: OOO «Lik», 2016. – S. 50-53.
8. Pchelkin V.V. Obosnovanie meliorativnogo rezhima osushaemyh pojmennyh zemel. – M.: KolosS, 2003. – 253 s.
9. Safin H.M., Lukmanova A.D., Zotova N.A. Optimizatsiya rezhima orosheniya lyutserny na seno v pochvenno-klimaticeskikh usloviyah Bashkortostana // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj selskohozyajstvennoj akademii. – 2016. – № 1. – S. 3-7. – URL: <https://rucont.ru/efd/391422> (data obrashcheniya: 28.07.2021).
10. Kharchenko S.I. Upravlenie vodnym rezhimom na melioriruemyh zemlyah v Nечernozemnoj zone. – M., Gidrometeoizdat, 1987. – S. 206-208.
11. Aboamera M.A.; Aly S.M.; Aha Y.M. (2000). Water relation of pepper grown in polymer treated sandy soil under drip irrigation system. Misr J. Ag. Eng., 17(1): 125-147.
12. Badr A.E.; Bakeer G.A.; El-Tantawy M.T. and A.H. Awwad. (2006). Sprinkler and trickle irrigation affected by climatic conditions in upper Egypt. Misr J. Ag. Eng., 23(2): 346-361.
13. Eid H.M.; Ainer N.G.; Metwally M.A. (1987). Estimation of irrigation and temperature needs for the new pods in Egypt Conf. of Agri. Sci. On food Deficiency Overcoming Through Autonomous Efforts in Egypt Manssoura Univ. Pp. 907-914.
14. FAO. (1985). Introduction to Irrigation. Irrigation Water Management. Training Manual No. 1. 1985.
15. Klatt F. Die Steuerung den Berechnungsnachdem Berechnungsdiagramm. – Z. Landeskultur, H. 2, 1967, s. 89-98.
16. Optimum control model of soil water regime under irrigation [Tekst] / A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev,

M.N. Lytov, V.S. Bocharnikov, S.D. Fomin, O.V. Bocharnikova, E.S. Vorontsova // Bulgarian journal of agricultural Science. – 2018. – № 24 (5). – P. 909-913.

17. **Steven R.** Evett, Kenneth C. Stone, Robert C. Schwartz, Susan A. O'Shaughnessy, Paul D. Colaizzi, Scott K. Anderson & David J. Anderson Resolving discrepancies between laboratory-determined field capacity values and field water content observations: implications for irrigation management // Irrigation Science volume. – 2019. – № 37. – Pp. 751-759.

18. Zin El-Abedin T.K. Improving moisture distribution pattern of subsurface drip irrigation in sandy soil by using synthetic soil conditioner // Misr J.Ag. Eng. – 2006. – № 23(2). – Pp. 374-399.

Критерии авторства

Пчёлкин В.В., Владимиров С.О., Зяблицев Д.И., Абдель Таваб. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья поступила в редакцию 15.08.2022

Одобрена после рецензирования 12.09.2022

Принята к публикации 19.09.2022

M.N. Lytov, V.S. Bocharnikov, S.D. Fomin, O.V. Bocharnikova, E.S. Vorontsova // Bulgarian journal of agricultural Science. – № 24 (5). 2018. – P. 909-913.

17. **Steven R.** Evett, Kenneth C. Stone, Robert C. Schwartz, Susan A. O'Shaughnessy, Paul D. Colaizzi, Scott K. // Anderson & David J. Anderson Resolving discrepancies between laboratory-determined field capacity values and field water content observations: implications for irrigation management / Irrigation Science volume37, pages751-759(2019) Cite this article.

18. Zin El-Abedin T.K. (2006). Improving moisture distribution pattern of subsurface drip irrigation in sandy soil by using synthetic soil conditioner. Misr J.Ag. Eng., 23(2): 374-399.

Criteria of authorship

Pchelkin V.V., Vladimirov S.O., Zyablitsev D.I., Abdel T. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Pchelkin V.V., Vladimirov S.O., Zyablitsev D.I., Abdel T. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 15.08.2022

Approved after reviewing 12.09.2022

Accepted for publication 19.09.2022