

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-55-62>

УДК 631.674.6:628.171:635.34



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ БЕЛОКОЧАННОЙ ПОЗДНЕЙ КАПУСТЫ НА ОСНОВЕ ИСПАРЯЕМОСТИ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ

В.В. Пчелкин<sup>1✉</sup>, Е.А. Попова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

<sup>1</sup>9766793@mail.ru; ORCID ID: 0000-0003-3625-9949

<sup>2</sup>kkk97@list.ru; ORCID ID: 0000-0002-5281-4714

**Аннотация.** Возделывание овощных культур в засушливые периоды вегетации в Нечерноземной зоне России требует проведения орошения. Использование капельного способа полива обеспечивает стабильное получение урожая белокочанной поздней капусты и сохранение плодородия почвы. При расчете режима орошения белокочанной поздней капусты необходима формула для расчета суммарного водопотребления. Несмотря на большое количество исследований по определению суммарного водопотребления овощных культур, формулы для расчета суммарного водопотребления белокочанной поздней капусты на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны России при капельном способе полива с использованием испаряемости отсутствуют. В этой связи были проведены исследования в 2022-2023 гг. на территории Сергиево-Посадского городского округа Московской области, позволившие получить формулу для расчета суммарного водопотребления белокочанной поздней капусты с использованием испаряемости в рассматриваемых условиях. К данной формуле были определены коэффициенты ( $K_{пер.}$ ) перехода испаряемости к потенциальному водопотреблению белокочанной поздней капусты, а также биологические коэффициенты ( $K_{биол.}$ ) и коэффициенты ( $K_{вл.}$ ), учитывающие понижение влажности почвы ниже оптимальных значений для исследуемой культуры. Сопоставление расчетных данных суммарного водопотребления белокочанной поздней капусты с фактическими данными показало сильную связь. При этом коэффициент корреляции данной связи составил  $0,975 \pm 0,0315$ .

**Ключевые слова:** водопотребление, орошение, испаряемость, вода, белокочанная поздняя капуста, почва

**Формат цитирования:** Пчелкин В.В., Попова Е.А. Определение водопотребления белокочанной поздней капусты на основе испаряемости при капельном поливе // Природообустройство. 2025. № 5. С. 55-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-55-62>

Scientific article

## DETERMINING THE WATER CONSUMPTION OF LATE WHITE CABBAGE BASED ON EVAPORATION UNDER DRIP IRRIGATION

V.V. Pchelkin<sup>1✉</sup>, E.A. Popova<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; 127434, Moscow, Timiryazevskaya str., 49, Russia

<sup>1</sup>9766793@mail.ru ORCID ID: 0000-0003-3625-9949

<sup>2</sup>kkk97@list.ru; ORCID ID: 0000-0002-5281-4714

**Abstract.** Cultivation of vegetable crops during dry periods of vegetation in the Non-Chernozem zone of Russia requires irrigation. The use of drip irrigation ensures a stable yield of white cabbage and preserves soil fertility. When calculating the irrigation regime for white cabbage, a formula is needed to calculate the total water consumption. Despite a large number of studies on determining the total water consumption of vegetable crops, there are no formulas for calculating the total water consumption of white cabbage on sod-podzolic soils in the Non-Chernozem zone of Russia using drip irrigation and evaporation. In this regard, studies were conducted in 2022-2023 on the territory of the Sergiyev-Posadsky urban district of the Moscow Region, which allowed us to obtain a formula for calculating the total water consumption of white cabbage using evaporation under the conditions under consideration. The following coefficients were determined for this formula: the coefficients ( $K_{per.}$ ) of the transition from evaporation to the potential water consumption of white cabbage; as well as the biological coefficients ( $K_{biol.}$ ) and the coefficients ( $K_{vl.}$ ) that

take into account the decrease in soil moisture below the optimal values for the studied crop. Comparison of the calculated data on the total water consumption of white cabbage with the actual data showed a strong correlation. The correlation coefficient of this relationship was  $0.975 \pm 0.0315$ .

**Keywords:** water consumption, irrigation, evaporation, water, white late cabbage, soil

**Format of citation:** Pchelkin V.V., Popova E.A. Determining the water consumption of late white cabbage based on evaporation under drip irrigation // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 5. P. 55-62. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-5-55-62>

**Введение.** Орошение в комплексе с агротехническими мероприятиями является значимым способом повышения урожайности сельскохозяйственных культур в России. В этой связи изучение режимов орошения белокочанной поздней капусты при капельном способе полива на дерново-подзолистых почвах является актуальным вопросом исследований в Нечерноземной зоне. Это вызвано тем, что опыт по режимам орошения белокочанной поздней капусты, накопленный в других природно-климатических зонах при иных способах полива, является неприемлемым в Нечерноземной зоне. Суммарное водопотребление является важным параметром в мелиоративных исследованиях и используется при расчете режима орошения сельскохозяйственных культур.

Установлением зависимостей между суммарным водопотреблением сельскохозяйственных культур и метеорологическими характеристиками в России занимались такие исследователи, как А.М. Алпатыев [1], А.И. Голованов, В.В. Пчёлкин, М.М.А. Абдельазим [2], Н.В. Данильченко [3], Н.Н. Дубенок, Г.В. Ольгаренко, Р.В. Калининченко [4], Г.К. Льгов [5], Е.В. Мелихова [6], Дж. Монтейта [7], И.В. Ольгаренко, М.С. Эфендиев, И.В. Ольгаренко, М.С. Эфендиев [8], В.В. Пчёлкин [9-12] и др. Среди иностранных исследований известны работы таких ученых, как М.А. Aboamera, S.M. Aly, Y.M. Aha [13], R.G. Allen, L.S. Pereira [14], K. Djaman, K. Koudahe, M. Sall, I. Kabenge, D. Rudnick, S. Irmak, G.E. Greaves, Y.M. Wang [15], E. Farg, S.M. Arafat, M.S. Abd El-Wahed, A.M. El-Gindy [16], G.E. Greaves, Y.M. Wang, Yield Response [17], H.L. Penman, [16], T.K. Zin El-Abedin [18] и др.

Обзор источников литературы показал, что единой универсальной формулы по определению

суммарного водопотребления белокочанной поздней капусты с учетом испаряемости при капельном способе полива и глубоком залегании грунтовых вод в южно-таежной подзоне не существует. В этой связи были проведены исследования, на основании которых получена формула для расчета суммарного водопотребления белокочанной поздней капусты с использованием испаряемости. К данной зависимости получены коэффициент ( $K_{пер.}$ ) связи испарения с водной поверхностью с потенциальным водопотреблением, а также биологические коэффициенты ( $K_{биол.}$ ) и коэффициенты ( $K_{в.}$ ), учитывающие снижение влажности почвы ниже оптимальных значений.

**Цель исследований:** определение водопотребления белокочанной поздней капусты на основе испаряемости при капельном поливе.

**Материалы и методы исследований.** Южно-таежная подзона более чем на 50% расположена на дерново-подзолистых почвах. Благоприятный климат и орошение в этой подзоне способствуют интенсивному развитию земледелия. В Московской области орошаемые земли составляют 139, 5 тыс. га [6]. При этом доля овощей, выращенных на орошаемых землях, составляет 75%, а кормовых культур – 25%. Дальнейшее развитие интенсификации сельскохозяйственного производства овощей будет связано с более широким применением капельного способа полива.

**Климат и почвы.** Южно-таежная подзона имеет умеренно-теплый и неустойчивый по влажности климат. Дефицит влаги в почве наблюдается в течение 4...30 суток. Основные метеорологические показатели представлены таблице 1.

В период проведения исследований (май-сентябрь) среднесуточная температура воздуха в 2022 г. составила  $18,1^{\circ}\text{C}$ , а в 2023 г. –  $15,9^{\circ}\text{C}$ , причем осадков выпало 205 и 246 мм

**Таблица 1. Основные метеорологические показатели в южно-таежной подзоне**

**Table 1. Main meteorological indicators in the southern taiga subzone**

Осадки за год, мм <i>Precipitation for the year, mm</i>	Сумма среднесуточные значения активных температур воздуха, $^{\circ}\text{C}$ <i>Sum of average daily values of active air temperatures, <math>^{\circ}\text{C}</math></i>	Продолжительность безморозного периода, сут <i>Duration frost-free period, days</i>
550...650	1700...2400	110...140

соответственно. Таким образом, 2022 г. был теплым и засушливым, а 2023 г. по данным показателям был средним.

Дерново-подзолистые почвы содержат большое количество азота, фосфора и кальция. При этом показатель гумуса составляет менее 2%, а pH – 4,0...5,5, то есть данные почвы имеют повышенную кислотность.

В естественном состоянии дерново-подзолистые почвы имеют малую биологическую активность. Гранулометрическая структура почвы опытного участка состоит из среднесуглинистых отложений.

*Водно-физические и агрохимические свойства почв опытного участка.* Плотность ненарушенной структуры почвы составляет 1,37...1,80 т/м<sup>3</sup>, а плотность ее твердой фазы – 2,40...2,70 т/м<sup>3</sup>. Порозность почвы составляет 0,46...0,38 в долях от объема, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Величина полной влагоемкости (ПВ) составляет 0,42...0,35 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, а наименьшая влагоемкость (НВ) – 0,38...0,35 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Значение порозности, полной влагоемкости (ПВ) и наименьшей влагоемкости (НВ) в расчетном слое почвы принята равной: пористость – 0,46; ПВ – 0,42; НВ – 0,38 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> [10]. Максимальная и минимальная граница гигроскопичности имеет параметры 0,05...0,10 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Скорость перетекания воды через почву при ее полном насыщении и единичном градиенте напора (коэффициент фильтрации почвы) в расчетном слое (0,4 м) составляет 0,22 м/сут., а на глубине 0,8 м – 0,43 м/сут.

Гумус объекта исследований находится в пределах 1,09...3,71%, при этом среднее значение составляет 2,4%. Почва участка исследований является близкой к нейтральной в среднем (Ph = 7,2) и слабо изменяется (в диапазоне 6,6...7,8). Почва опытного участка имеет повышенную обеспеченность подвижным фосфором P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (185...215 мг/кг) и низкую – подвижным калием (K<sub>2</sub>O 52...86).

Исследования проводились в 2022-2023 гг. на территории Сергиево-Посадского городского округа Московской области на дерново-подзолистых почвах [7].

Опыты были размещены на четырех делянках в трехкратной повторности. Площадь отдельно взятой делянки составляла 50 м<sup>2</sup>. Делянки представляли собой варианты, на которых моделировались различные интервалы влажности почвы. Интервалы относительной влажности почвы на вариантах представлены в таблице 2.

Ежегодная норма внесения удобрений в почву составила N<sub>90</sub>P<sub>100</sub>K<sub>90</sub> [7].

Один раз в 3 года вносили торфонавозные компосты из расчета 30 т/га. Орошение осуществлялось с помощью системы капельного полива [7]. Измерение влажности почвы осуществляли в слое 0...0,5 м через 0,1 м по глубине в 5 точках прибором HH2-SM300 (DELTA-T DEVICES LTD).

Обработку опытных данных производили методом регрессивного и корреляционного анализа с использованием стандартных компьютерных программ. Суммарное водопотребление белокочанной поздней капусты получали с помощью водобалансовых лизиметров. Применялись круглые металлические лизиметры высотой 1,8 м и диаметром 1,6 м. Способ строительства лизиметров, разработанный В.В. Пчелкиным и Н.П. Буниной [9], позволил установить лизиметры с монолитом почвы ненарушенной структуры. Агрохимические и водно-физические показатели определялись в специализированной лаборатории [7].

*Расчет водопотребления белокочанной поздней капусты.* Суммарное водопотребление белокочанной поздней капусты получали с помощью круглых металлических лизиметров [11]. Уравнение водного баланса зоны аэрации лизиметров и делянок в слое 0,5 м имеет следующий вид, мм:

$$\delta\omega = P + m \pm g - E_i, \quad (1)$$

где  $\delta\omega = \omega_k - \omega_n$  – влагозапасы почвы в зоне аэрации лизиметров, слой 0,5 м делянок в конце пентады  $\omega_k$  и в ее начале  $\omega_n$ ;  $P$  – дождевые осадки;  $m$  – поливная норма;  $g$  – влагообмен в зоне аэрации лизиметров и слоя почвы 0,5 м делянок с нижерасположенными слоями;  $g$  – переток влаги из зоны аэрации лизиметров и слоя 0,5 м делянок в нижерасположенные слои;  $g$  – подпитывание зоны аэрации лизиметров и слоя почвы 0,5 м со стороны нижерасположенных слоев;  $E_i$  – суммарное водопотребление белокочанной поздней капусты.

Таблица 2. Интервалы относительной влажности почвы на вариантах

Table 2. Ranges of relative soil moisture in the variants

Номер делянки / Plot number	Варианты / Options	Интервалы влажности почвы / Soil moisture intervals
1	1	0,7...0,8 НВ
2	2	0,8...0,9 НВ
3	3	0,9...1,0 НВ
Контроль / Control	4	Без полива / No watering

Составляющие водного баланса лизиметров  $\delta\omega$ ,  $P$ ,  $m$ ,  $g$  измеряли в период проведения опыта, а  $E_i$  определяли как неизвестное в уравнении (1).

Потенциальное суммарное испарение белокочанной поздней капусты рассчитывали по формуле (2) В.В. Пчёлкина (2003) [10]:

$$E_p = a \sum_{i=1}^{np} d_{si}^b, \quad (2)$$

где  $E_p$  – потенциальное суммарное испарение белокочанной поздней капусты, мм/пент.;  $a$ ,  $b$  – коэффициенты уравнения регрессии, зависящие от природно-климатической зоны, типа почвы и вида растений;  $np$  – количество пентад за период вегетации белокочанной поздней капусты;  $\sum d_{si}$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха в  $i$  пентаду периода роста и развития белокочанной поздней капусты, мб/пент.

**Результаты и их обсуждение.** Ряд эмпирических формул устанавливает связь суммарного испарения с дефицитом влажности воздуха

и другими метеорологическими факторами. Отдельные метеорологические станции проводят измерение испарения с водной поверхности, применяемое в зависимостях Х.Л. Пенмана [14] и др. Однако, чтобы увязать испаряемость с суммарным водопотреблением конкретной культуры, нужно иметь следующие коэффициенты:  $K_{pp}$ ,  $K_{\delta}$ ,  $K_B$ .

Для расчета суммарного водопотребления авторами была предложена следующая формула [12]:

$$E_{pp} = K_{pp} K_{\delta} K_B E_o, \quad (3)$$

где  $E_o$  – испарение с водной поверхности (испаряемость), мм/пент.;  $E_{pp}$  – суммарное водопотребление при возделывании белокочанной поздней капусты, мм/пент.;  $K_{pp}$  – коэффициенты перехода испаряемости к потенциальному водопотреблению белокочанной поздней капусты;  $K_{\delta}$  – биологические коэффициенты белокочанной поздней капусты;  $K_B$  – коэффициенты, учитывающие понижение влажности почвы ниже оптимальных значений для белокочанной поздней капусты.

Таблица 3. Результаты расчета ( $E_o$ ), ( $E_p$ ) и ( $K_{pp}$ ) для белокочанной поздней капусты

Table 3. Results of calculation of ( $E_o$ ), ( $E_p$ ) and ( $K_{pp}$ ) for late white cabbage

Месяц <i>Month</i>	Пентады <i>Pentads</i>	Годы / Years							
		2022				2023			
		$d_s$ , мб/пент <i>mb / pent</i>	$E_o$ , мм/пент. <i>mm / pent</i>	$E_p$ , мм/пент. <i>mm / pent</i>	$K_{pp}$	$d_s$ , мб/пент. <i>mb / pent</i>	$E_o$ , мм/пент. <i>mm / pent</i>	$E_p$ , мм/пент. <i>mm / pent</i>	$K_{pp}$
VI	3	39	21,5	16,5	0,77	33	18,3	14,8	0,81
	4	43	23,7	17,6	0,74	35	19,4	15,4	0,79
	5	56	30,8	20,9	0,68	30	16,6	13,9	0,84
	6	62	34,1	22,4	0,66	26	14,4	12,6	0,88
VII	1	74	40,5	25,2	0,62	42	23,2	17,3	0,74
	2	58	31,9	21,4	0,67	34	18,8	15,1	0,80
	3	68	37,3	23,8	0,64	18	10,0	9,9	0,99
	4	48	26,4	18,9	0,72	23	12,8	11,6	0,91
	5	57	31,3	21,2	0,68	23	12,8	11,6	0,91
	6	89	48,7	28,4	0,58	23	12,8	11,6	0,91
VIII	1	53	29,2	20,2	0,69	34	18,8	15,1	0,80
	2	26	14,4	12,6	0,88	39	21,5	16,5	0,77
	3	40	22,1	16,8	0,76	23	12,8	11,6	0,91
	4	56	30,8	20,9	0,68	26	14,4	12,6	0,88
	5	66	36,2	23,3	0,64	29	16,1	13,6	0,84
	6	58	31,9	21,4	0,67	29	16,1	13,6	0,84
IX	1	37	20,5	15,9	0,78	25	13,9	12,3	0,88
	2	37	20,5	15,9	0,78	19	10,6	10,3	0,97
	3	27	15,0	12,9	0,86	30	16,6	13,9	0,84
	4	26	14,4	12,6	0,88	28	15,5	13,3	0,86
	5	17	9,5	9,5	1,00	25	13,9	12,3	0,88
	6	11	6,2	7,2	1,16	19	10,6	10,3	0,97
X	1	7	3,9	5,3	1,36	16	8,9	9,2	1,03
	2	18	10,0	9,9	0,99	5	2,8	4,3	1,53
	3	17	9,5	9,5	1,00	16	8,9	9,2	1,03
	4	5	2,8	4,3	1,53	9	5,1	6,3	1,23



$K_{\text{рп}}$  следует рассчитывать по формуле:

$$K_{\text{рп}} = E_{\text{р}} / E_0. \quad (4)$$

Испаряемость за пентадные периоды рекомендуется определять по формуле (5) [8]:

$$E_0 = a_1 d_s^{n_1}, \quad (5)$$

где  $a_1$ ,  $n_1$  – коэффициенты уравнения регрессии ( $a_1 = 0,58$ ;  $n_1 = 0,99$ );  $d_s$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мм/пент.

Потенциальное суммарное водопотребление белокочанной поздней капусты при оптимальной влажности почвы за пентадные периоды следует определять по формуле (6) [6]:

$$E_0 = a_2 d_s^{n_2}, \quad (6)$$

где  $E_0$  – потенциально возможное суммарное водопотребление для белокочанной капусты, мм/пент.;  $a_2$ ,  $n_2$  – коэффициенты уравнения регрессии, учитывающие климатическую зону и почвы ( $a_2 = 1,47$ ;  $n_2 = 0,65$ ).

Результаты расчета ( $E_0$ ), ( $E_{\text{р}}$ ) и ( $K_{\text{рп}}$ ) для белокочанной поздней капусты представлены в таблице 3.

Биологические коэффициенты для белокочанной поздней капусты были получены ранее в работе [6] и представлены в таблице 4.

Значения  $E_{\text{рп}}$  и  $E_{\text{рф}}$ , рассчитанные по формулам (3) и (7), и испаряемость  $E_0$  для белокочанной поздней капусты представлены в таблице 4:

$$E_{\text{рф}} = K_6 a_2 d_s^{n_2}. \quad (7)$$

Закономерность изменения  $K_{\text{рп}}$  от испаряемости ( $E_0$ ) при выращивании белокочанной поздней капусты в условиях капельного полива показана на рисунке 1.

Из данных рисунка 1 следует, что закономерность изменения  $K_{\text{рп}}$  от испаряемости ( $E_0$ ) при выращивании белокочанной поздней капусты

**Таблица 4. Результаты расчета по формулам (3) и (7)  $E_{\text{рп}}$  и  $E_{\text{рф}}$ , биологические коэффициенты  $K_6$ , и испаряемость  $E_0$  для белокочанной поздней капусты**

**Table 4. Results of calculation according to formulas (3) and (7)  $E_{\text{рп}}$  and  $E_{\text{рф}}$ , biological coefficients  $K_6$ , and evaporation  $E_0$  for white late cabbage**

Месяц Month	Пентады Pentads	2022				2023			
		$K_6$	$E_{\text{рф}}$	$E_{\text{рп}}$	$E_0$	$K_6$	$E_{\text{рф}}$	$E_{\text{рп}}$	$E_0$
VI	3	0,7	16,5	11,6	21,5	0,7	14,8	10,4	18,3
	4	0,78	17,6	13,7	23,7	0,78	15,4	12,0	19,4
	5	0,85	20,9	17,8	30,8	0,85	13,9	11,9	16,6
	6	0,90	22,4	20,3	34,1	0,90	12,6	11,4	14,4
VII	1	0,95	25,2	23,9	40,5	0,95	17,3	16,3	23,2
	2	1	21,4	21,4	31,9	1	15,1	15,0	18,8
	3	1	23,8	23,9	37,3	1	9,9	9,9	10,0
	4	1	18,9	19,0	26,4	1	11,6	11,6	12,8
	5	1	21,2	21,3	31,3	1	11,6	11,6	12,8
	6	1	28,4	28,3	48,7	1	11,6	11,6	12,8
VIII	1	1	20,2	20,2	29,2	1	15,1	15,0	18,8
	2	1	12,6	12,7	14,4	1	16,5	16,6	21,5
	3	1	16,8	16,8	22,1	1	11,6	11,6	12,8
	4	1	20,9	20,9	30,8	1	12,6	12,7	14,4
	5	1	23,3	23,2	36,2	1	13,6	13,5	16,1
	6	1	21,4	21,4	31,9	1	13,6	13,5	16,1
IX	1	1	15,9	16,0	20,5	1	12,3	12,2	13,9
	2	1	15,9	16,0	20,5	1	10,3	10,3	10,6
	3	1	12,9	12,9	15,0	1	13,9	13,9	16,6
	4	1	12,6	12,7	14,4	1	13,3	13,3	15,5
	5	0,98	9,5	9,3	9,5	0,98	12,3	12,0	13,9
	6	0,97	7,2	7,0	6,2	0,97	10,3	10,3	10,6
X	1	0,96	5,3	5,1	3,9	0,96	9,2	8,8	8,9
	2	0,94	9,9	9,3	10,0	0,94	4,3	4,0	2,8
	3	0,91	9,5	8,7	9,5	0,91	9,2	8,3	8,9
	4	0,86	4,3	3,7	2,8	0,86	6,3	5,4	5,1

Таблица 5. Связь испаряемости ( $E_0$ ) с коэффициентом перехода ( $K_{рп}$ ) и относительной влажности почвы ( $W_{от}$ ) с коэффициентом ( $K_в$ )  
 Table 5. Relationship of evaporation ( $E_0$ ) with transition coefficients ( $K_{рп}$ ) and relative soil moisture ( $W_{от}$ ) with coefficient ( $K_в$ )

$E_0$ , мм/дек / $E_0$ , mm/dec	$K_{рп}$	$W_{от}$	$K_в$
3	1,5	0,45	0,25
5	1,22	0,50	0,34
10	0,99	0,55	0,54
15	0,87	0,60	0,73
20	0,79	0,65	0,90
25	0,72	<b>0,70 и более</b>	1
30	0,69	–	–
35	0,66	–	–
40	0,61	–	–
45	0,60	–	–
50	0,59	–	–

в условиях капельного полива имеет сильную плотность данной связи, которая составляет  $0,9997 \pm 0,00447$ .

На основании проведенных исследований в работе авторов [6] установлено влияние относительной влажности почвы ( $W_{от} = W/HB$ ) на суммарное водопотребление ( $E_i/E_{max} = K_в$ ).

В таблице 5 для практического пользования представлены данные связи испаряемости ( $E_0$ ) с коэффициентом перехода ( $K_{рп}$ )

и относительной влажности почвы ( $W_{от}$ ) с коэффициентом ( $K_в$ ).

По формулам (3), (7) рассчитаны величины  $E_{рп}$  и  $E_{рф}$  и построен график связи этих значений (рис. 2).

Коэффициент корреляции связи значений, рассчитанных по формулам (3) и (7), равен  $0,975 \pm 0,0315$ , что показывает сильную связь между  $E_{рп}$  и  $E_{рф}$ . Из этого следует, что формулу (3) можно использовать при расчете водопотребления белокочанной поздней капусты.

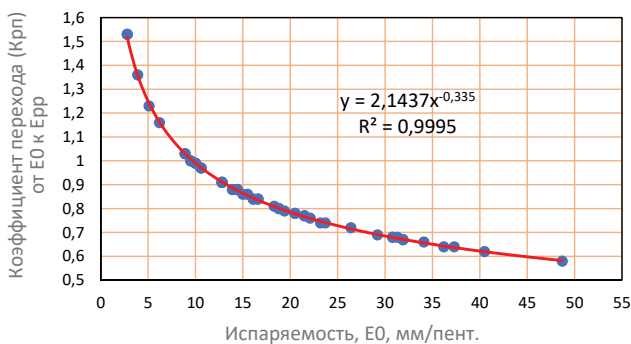


Рис. 1. Закономерность изменения  $K_{рп}$  в зависимости от испаряемости ( $E_0$ ) при выращивании белокочанной поздней капусты в условиях капельного полива

Fig. 1. Regularity of changes in  $K_{рп}$  from evaporation ( $E_0$ ) when growing white late cabbage under drip irrigation conditions

### Выводы

В 2022-2023 гг. были проведены исследования на территории Сергиево-Посадского городского округа Московской области, позволившие получить формулу для расчета суммарного

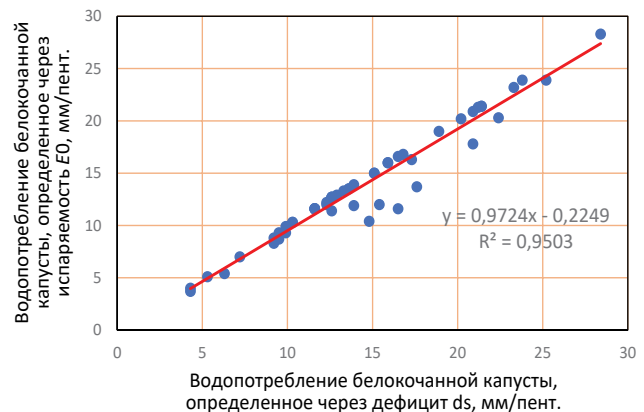


Рис. 2. Связь величин  $E_{рп}$  и  $E_{рф}$ , рассчитанных по формулам (3) и (7)

Fig. 2. Relationship between the  $E_{рп}$  and  $E_{рф}$  values calculated according to formulas (3) and (7)

водопотребления белокочанной поздней капусты с использованием испаряемости в рассматриваемых условиях. К данной зависимости получены коэффициенты  $K_{рп}$  перехода от испаряемости к потенциальному суммарному испарению.

Доказана правомерность использования в формуле (3) ранее определенных биологических коэффициентов  $K_6$  и коэффициентов  $K_в$ , учитывающих снижение влажности почвы ниже оптимальных величин для белокочанной поздней капусты на дерново-подзолистых почвах при капельном способе полива.

Фирмам по проектированию гидромелиоративных систем рекомендуется использовать формулу (3) при расчете суммарного

водопотребления белокочанной поздней капусты на дерново-подзолистых почвах при капельном способе полива.

Сельскохозяйственным предприятиям следует использовать результаты проведенных исследований для расчета эксплуатационного режима орошения.

В дальнейшем предполагается проводить опыты с иными культурами и с применением других способов орошения.

#### Список использованных источников

1. Алпатьев А.М. К обоснованию формирования поливных норм с использованием биоклиматического метода расчета суммарного испарения / А.М. Алпатьев, В.П. Остапчик // Мелиорация и водное хозяйство. 1971. Вып. 19. С. 13-17.
2. Голованов А.И. Связь испарения с водной поверхности с водопотреблением сельскохозяйственных культур на осушаемых пойменных землях / А.И. Голованов, В.В. Пчелкин, М.М.А. Абдельазим // Природообустройство. 2012. № 3. С. 16-20.
3. Данильченко Н.В. Методические особенности расчета оросительных норм с.-х. культур в НЧЗ РСФСР. / В кн.: Техника и технология механизированного орошения. М.: 1982. с. 177-186.
4. Дубенок Н.Н. Перспективы и общественная значимость развития мелиорации в Московской области / Н.Н. Дубенок, Г.В. Ольгаренко, Р.В. Калинин. // Мелиорация и водное хозяйство, 2022. № 5, С. 6-10.
5. Льгов Г.К. Орошение сельскохозяйственных культур центральной части Северного Кавказа. Нальчик, 1980. 104 с.
6. Мелихова Е.В. Моделирование и обоснование ресурсосберегающих параметров капельного орошения при возделывании корнеплодов: монография / Е.В. Мелихова. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2017. 112 с.
7. Монтейт Дж.Л. (1965). «Испарение и окружающая среда» (PDF) // Симпозиум общества экспериментальной биологии. 19: 205-234. PMID 5321565.
8. Ольгаренко И.В. Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов // Мелиорация и водное хозяйство / И.В. Ольгаренко, М.С. Эфендиев // Материалы научно-практической конференции: Сборник научных трудов. Новочеркасск: «Лик», 2016. С. 50-53.
9. Пчелкин В.В. Водопотребление белокочанной капусты при капельном поливе в Нечерноземной зоне России / В.В. Пчелкин, Е.А. Попова, С.О. Владимиров // Научная жизнь. 2025. Т. 20. № 1 (139). С. 12-20.
10. Пчелкин В.В. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв на урожайность белокочанной капусты при капельном поливе / В.В. Пчелкин, Е.А. Попова, А.Д. Солошенко // Научная жизнь. 2024. Т. 19. № 3 (135). С. 380-387.
11. Пчелкин В.В. Расчет водопотребления красного клевера с использованием испарения с водной поверхности в условиях нечерноземной зоны / В.В. Пчелкин, А.М. Сергеева // Природообустройство. 2022. № 5. С. 28-35.
12. Авторское свидетельство № 1631421 СССР, МПК G01N33/24. Способ строительства монолитного лизиметра:

#### References

1. Alpatiev A.M. To the substantiation of the formation of irrigation norms with the use of the bioclimatic method of calculation of total evaporation / A.M. Alpatiev, V.P. Ostapchik // Melioration and water management. 1971. Issue 19. P. 13-17.
2. Golovanov A.I. The Relationship between Evaporation from the Water Surface and Water Consumption by Crops on Drained Floodplain Lands / A.I. Golovanov, V.V. Pchelkin, M.M.A. Abdelazim // Prirodoobustroystvo. 2012. No. 3. P. 16-20.
3. Danilchenko N.V. Methodological Features of Calculating Irrigation Rates for Agricultural Crops in the Nizhny Novgorod Region of the RSFSR. In the book: Technique and Technology of Mechanized Irrigation. Moscow, 1982, P. 177-186.
4. Dubenok N.N. Prospects and social significance of the development of land reclamation in the Moscow region / N.N. Dubenok, G.V. Olgarenko, R.V. Kalinichenko. Melioration and water management, 2022. No. 5, P. 6-10.
5. Lgov G.K. Irrigation of Agricultural Crops in the Central Part of the North Caucasus. – Nalchik, 1980. 104 p.
6. Melikhova E.V. Modeling and Justification of Resource-Saving Parameters of Drip Irrigation in the Cultivation of Root Vegetables: Monograph / E.V. Melikhova. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2017. 112 p.
7. Montague J.L. (1965). "Evaporation and the Environment" (PDF) // Symposium of the Society for Experimental Biology. 19: 205-234. PMID5321565.
8. Olgarenko I.V., Efendiev M.S. Total water consumption of crops in conditions of water resources deficit // Melioration and water management / I.V. Olgarenko, M.S. Efendiev // Materials of scientific and practical conference: Collection of scientific papers. Novocheerkassk: «LIK», 2016. P. 50-53.
9. Pchelkin V.V. Water consumption of white cabbage under drip irrigation in the Non-Chernozem zone of Russia / V.V. Pchelkin, E.A. Popova, S.O. Vladimirov // Scientific life. 2025. V. 20. No. 1 (139). P. 12-20.
10. Pchelkin V.V., Popova E.A., Soloshenkov A.D. The effect of water regime of sod-podzolic soils on the yield of white cabbage under drip irrigation / V.V. Pchelkin, E.A. Popova, A.D. Soloshenkov // Scientific life. 2024. V. 19. No. 3 (135). P. 380-387.
11. Pchelkin V.V., Sergeeva A.M. Calculation of red clover water consumption using evaporation from the water surface in the conditions of the non-chernozem zone / V.V. Pchelkin, A.M. Sergeeva // Prirodoobustroystvo. 2022. No. 5. P. 28-35.
12. Method of construction of a monolithic lysimeter: No 4495053/15: application. 12.10.1988: publ. 28.02.1991 / Pchelkin V.V., Bunina N.P.; applicant MGMI. 3 p. 3 с.

№ 4495053/15: заявл. 12.10.1988: опубл. 28.02.1991 / Пчелкин В.В., Бунина Н.П.; заявитель МГМИ. 3 с.

13. 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). P. 125-147.

14. Allen, R.G.; Pereira, L.S. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). *FAO Rome* 1998, 300, D05109. [Google Scholar]

15. Farg, E.; Arafat, S.M.; Abd El-Wahed, M.S.; El-Gindy, A.M. Estimation of Evapotranspiration ET<sub>c</sub> and Crop Coefficient K<sub>c</sub> of Wheat, in South Nile Delta of Egypt Using Integrated FAO-56 Approach and Remote Sensing Data. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* 2012, 15, 83-89.

16. Penman, H.L. (1948) Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proceedings of the Royal Society of London, 193, 120-145.

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.

13. 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). P. 125-147.

14. Allen, R.G.; Pereira, L.S. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). *FAO Rome* 1998, 300, D05109. [Google Scholar]

15. Farg, E.; Arafat, S.M.; Abd El-Wahed, M.S.; El-Gindy, A.M. Estimation of Evapotranspiration ET<sub>c</sub> and Crop Coefficient K<sub>c</sub> of Wheat, in South Nile Delta of Egypt Using Integrated FAO-56 Approach and Remote Sensing Data. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* 2012, 15, 83-89.

16. Penman, H.L. (1948) Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proceedings of the Royal Society of London, 193, 120-145.

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. P. 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.

#### Об авторах

**Виктор Владимирович Пчелкин**, д-р техн. наук, профессор кафедры «Сельскохозяйственных мелиораций»; 9766793@mail.ru; ORCID ID:0000-0003-3625-9949

**Екатерина Александровна Попова**, аспирант кафедры «Сельскохозяйственных мелиораций», ORCID ID: 0000-0002-5281-4714; Researcher ID: AAE-6824-2022; kkk97@list.ru

#### About the authors

**Victor V. Pchelkin**, DScs (Eng), professor of the department "Agricultural land reclamations", 9766793@mail.ru; ORCID ID: 0000-0003-3625-9949

**Ekaterina A. Popova**, post-graduate student of the department "Agricultural land reclamations"; ORCID ID: 0000-0002-5281-4714; Researcher.N. KostyakovID: AAE-6824-2022; kkk97@list.ru

#### Критерии авторства / Criteria of authorship

Пчелкин В.В., Попова Е.А. выполнили практические и 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 / The authors declare no conflict of interests

Статья поступила в редакцию / The article was received at the editorial office on 04.07.2025

Одобрена после рецензирования / Accepted after peer review on 13.10.2025

Принята к публикации после доработки / Approved for publication on 13.10.2025

V.V. Pchelkin, E.A. Popova carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript, they have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.