

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

А. А. Константинов, аспирант

В. М. Лукашевич, кандидат сельскохозяйственных наук

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки, Беларусь

Аннотация. Представлены результаты водопотребления овощных культур (лук, редис, салат) на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в условиях капельного полива (полевые опыты 2021–2023 гг. в северо-восточной зоне Беларусь). Для определения водопотребления данных культур использовались метод водного баланса и метод максимальных суточных температур воздуха. В результате полевых опытов установлено, что водопотребление овощей на дерново-подзолистых суглинистых почвах зависит от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода и норм капельного полива из-за неравномерности выпадения атмосферных осадков и распределения тепла внутри вегетационного периода. Это требует дополнительного увлажнения овощей как в засушливые, так и в средневлажные по осадкам годы.

Ключевые слова: лук, салат, редис, капельный полив, водопотребление, метод водного баланса, метод максимальных суточных температур, среднесуточное водопотребление.

A. A. Konstantinov, V. M. Lukashevich

WATER CONSUMPTION OF VEGETABLE CROPS

Abstract. The results of water consumption of vegetable crops (onions, radishes, lettuce) on sod-podzolic slightly loamy soils under drip irrigation conditions (field experiments 2021–2023 in the north-eastern zone of Belarus) are presented. To determine the water consumption of these crops, the water balance method and the method of maximum daily air temperatures were used. As a result of field experiments, it was established that the water consumption of vegetables on sod-podzolic loamy soils depends on the heat supply of the growing season and the norms of drip irrigation, due to the uneven precipitation and heat distribution within the growing season. It requires additional moistening of vegetables, both in dry and in years with moderately wet precipitation.

Keywords: onion, lettuce, radishes, drip irrigation, water consumption, water balance method, method of maximum daily temperatures, average daily water consumption.

Введение

Овощи – неотъемлемое звено в полноценном питании, которое обеспечивает человека жизненно необходимыми химическими компонентами, полностью или частично отсутствующими во многих продуктах животного происхождения. По данным Института питания Академии медицинских наук России, овощи на 15–25 % могут удовлетворить потребность человека в белках, на 50–60 % в углеводах и на 60–80% в витаминах и минералах [1].

Одной из задач государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг. является производство к концу 2025 г. овощей в объеме 1,9 млн тонн в хозяйствах всех категорий при средней урожайности 335 центнеров с гектара и увеличение площади посева овощей в открытом грунте до 14,8 тыс. гектаров¹.

При интенсивных технологиях выращивания овощных культур, когда размер и качество получаемого урожая напрямую зависят от точности поддержания влажности почвы и режима питания растений, эффективно применение капельного орошения. Прибавка урожая при капельном орошении в сравнении с дождеванием составляет 50–80 % [2, 3]. При возделывания конкретной овощной культуры экономия трудозатрат на единицу площади по сравнению с методом дождевания составляет 60–65 %, а экономия поливной воды – 40–45 %. Возможность обеспечить подачу удобрений с поливной водой позволяет оптимизировать пищевой режим растений с учетом их потребности в различные фазы роста и развития, при

¹ О государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 1 февр. 2021 г. № 59. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100059> (дата обращения: 10.08.2025).

этом количество вносимых минеральных удобрений сокращается на 50 %.

Анализ условий естественной влагообеспеченности минеральных почв Беларуси свидетельствует о крайней неравномерности распределения осадков как по годам, так и в отдельные периоды вегетации. В итоге не обеспечивается оптимальный водный режим почв для овощей. Недостаток увлажнения минеральных почв за летний период в сухой год повторяемостью один раз в 5 лет составляет от 80–150 мм в северной части страны до 190–240 мм – в южной [4].

Установлено, что на урожайность овощных культур в значительной мере влияет влагообеспеченность [3–5]. При снижении влажности почвы ниже 60 % наименьшей влагоемкости (НВ) даже на короткий период времени урожайность снижается в 2–4 раза, поэтому в регионах с неустойчивой естественной влагообеспеченностью возникает потребность в орошении.

Одной из основных расходных статей водного баланса корнеобитаемого слоя почвы, определяющей в значительной степени поливные режимы сельскохозяйственных культур, является водопотребление [4]. Наиболее достоверные данные о водопотреблении сельскохозяйственных культур можно получить на основании непосредственных полевых измерений путем расчета водного баланса, что дает вполне надежные и репрезентативные данные и применимо для определения средневзвешенных величин суммарного испарения и влагообмена. Достоверность метода зависит от точности измерения запасов почвенной влаги. Расчет текущих влагозапа-

сов основывается на уравнении водного баланса активного слоя почвы. Обычно уравнение водного баланса используют при условии глубокого залегания грунтовых вод и малых величин поверхностного стока на участке орошения¹:

$$W_k = W_h + P + m - \varphi \cdot E_m - C, \quad (1)$$

где W_h и W_k – начальные и конечные влагозапасы в расчетном слое за рассматриваемый период, мм;

P – осадки за расчетный период, мм;

m – поливная норма, мм;

φ – коэффициент, учитывающий зависимость водопотребления от увлажнения почвы; определялся в зависимости от водно-физических свойств почвы согласно [5];

E_m – максимальное водопотребление культуры (суммарное испарение, эвапотранспирация) при оптимальных влагозапасах, мм;

C – потери воды на внутрипочвенном и поверхностном стоках, мм.

Экспериментально и в ходе опытов доказано, что имеется тесная корреляция между водопотреблением орошаемых культур и средней за расчетный период максимальной суточной температурой воздуха. Для вычислений водопотребления (E_m , м³/га) применяется формула согласно ТКП 45-3.04-178-2009 (02250):

$$E_m = k_m \cdot t_m \cdot n, \quad (2)$$

где k_m – биологический коэффициент, рассчитанный по максимальной температуре воздуха;

t_m – максимальная суточная температура воздуха, средняя за расчетный период, °C;

n – количество суток.

Основная часть

Полевые опыты проводились на учебно-опытном орошаемом поле Белорусской сельскохозяйственной академии в 2021–2023 гг. Почвы дерново-подзолистые суглинистые; водно-физические свойства почвы в слое 0–100 см в среднем характеризуются следующими показателями: плотность – 1,44 г/см³, плотность твердой фазы – 2,66 г/см³, НВ – 23,04 % к массе сухой почвы.

Схема опыта включала следующие варианты: 1 – капельный полив овощей при снижении предполивной влажности до уровня 80 % НВ; 2 – капельный полив овощей при снижении предполивной влажности до уровня 70 % НВ; 3 – капельный полив овощей при снижении предполивной влажности до уровня 60 % НВ; 4 – контроль (без капельного полива).

¹ Оросительные системы. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-178-2009 (02250). Введ. 29.12.2009 г. № 441. Минск: Минстройархитектура, 2010. 70 с.

Опыты проводились по общепринятой методике Б. А. Доспехова [6]. Поливы осуществляли капельной системой орошения фирмы ООО «Аквафлора». Уклон участка не более 0,005. Верхним пределом оптимального увлажнения почвы принята наименьшая влагоемкость. Сроки полива устанавливали по мере снижения влажности почвы до нижнего предполивного предела в расчетном слое почвы, при этом влажность почвы определяли с интервалом 1–3 суток. За расчетный слой почвы принят слой 0–30 см. Норма полива контролировалась счетчиком воды по продолжительности полива [7].

В Беларуси применяется общепринятая технология возделывания изучаемых овощных культур; предшественниками изучаемых овощей являются злаковые культуры.

Вносились следующие минеральные удобрения: для лука – $N_{60}P_{60}K_{60}$ под планируемую урожайность 20 т/га; 2/3 $P_{60}K_{60}$ осенью под зяблевую вспашку, 1/3 $P_{60}K_{60}$, 2/3 N_{60} в предпосевную культивацию; 1/3 N_{60} в фазу 2–3 настоящих листьев в качестве подкормки (карбамид).

Под редис и салат удобрения не вносились ввиду скороспелости растений и с целью предотвращения накопления нитратов. Срок сева лука – 1-я декада мая. Весенний посев редиса проводился одновременно с посевом лука. Посев салата – 3-я декада июня, после завершения уборки весеннего посева редиса. Осенний посев редиса осуществляли после уборки салата, во 2-й декаде августа.

При посева лука применялся двухстрочный способ по схеме 15 + 62; аналогичен посев и у редиса. Салат высевали по той же схеме с последующим прореживанием, оставляя в строчке расстояние между соседними растениями, соответствующее расположению капельниц в капельной трубке.

Результаты расчетов по определению водопотребления овощей представлены в табл. 1. В числителе указано водопотребление, рассчитанное методом водного баланса, в знаменателе – методом максимальных суточных температур.

Значения водопотребления, выявленные методом водного баланса, по годам иссле-

дований изменялись. В вариантах с естественным увлажнением: для лука – от 2406 до 2777 м³/га; для редиса (весенний посев) – от 312 до 1218 м³/га; для салата – от 925 до 1819 м³/га; для редиса (осенний посев) – от 308 до 1265 м³/га. Приведем изменения водопотребления при капельном орошении: для лука – от 2324 до 3439 м³/га; редиса (весенний посев) – от 315 до 1460 м³/га; для салата – от 9918 до 1900 м³/га; для редиса (осенний посев) – от 307 до 1403 м³/га.

Расчет методом максимальных суточных температур показал, что водопотребление в варианте 1 по годам исследований изменялось: для лука – от 3224 до 3526 м³/га; для редиса (весенний посев) – от 651 до 1327 м³/га; для салата – от 1133 до 1966 м³/га; для редиса (осенний посев) – от 510 до 1507 м³/га; в вариантах 2, 3, 4: для лука – от 2528 до 3384 м³/га; для редиса (весенний посев) – от 383 до 1317 м³/га; для салата – от 1115 до 1958 м³/га; для редиса (осенний посев) – от 320 до 1508 м³/га.

Средние значение биотермических коэффициентов водопотребления овощей за вегетационные периоды 2021–2023 гг., рассчитанные по методу максимальных суточных температур, представлены в табл. 2.

За три года исследований разница полученных значений водопотребления по методу водного баланса и методу максимальных суточных температур составляет менее 10 %, что говорит о достоверности проведенных опытов и точности выбранных методов. Связь полученной урожайности овощей с водопотреблением культур установлена с помощью показателя продуктивности использования ресурсов влаги, а именно коэффициента водопотребления (K_y), выражающий расход воды на единицу массы полученной урожайности и являющийся частным от деления суммарного водопотребления культуры на ее урожайность.

Значения коэффициента водопотребления в вариантах опыта представлены в табл. 3. В числителе показано водопотребление, рассчитанное методом водного баланса, в знаменателе – методом максимальных суточных температур.

Таблица 1. Водопотребление овощей, Е, м³/га

Лук					
Год	Без орошения и удобрения	Без орошения с удобрением	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ
	0–30	0–30	0–30	0–30	0–30
2021	<u>2655</u> 2528	2777	<u>2865</u> 2753	<u>3079</u> 2994	<u>3439</u> 3224
2022	<u>2582</u> 2916	2520	<u>2718</u> 3067	<u>3223</u> 3384	<u>3411</u> 3526
2023	<u>2415</u> 2828	2406	<u>2324</u> 2828	<u>2719</u> 3318	<u>3176</u> 3460
Среднее	<u>2551</u> 2757	2568	<u>2635</u> 2883	<u>3007</u> 3232	<u>3342</u> 3403
Редис (весенний посев)					
Год	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ	
	0–30	0–30	0–30	0–30	
2021	<u>713</u> 749	<u>714</u> 749	<u>737</u> 750	<u>749</u> 751	
2022	<u>1218</u> 1297	<u>1252</u> 1307	<u>1303</u> 1317	<u>1460</u> 1327	
2023	<u>312</u> 383	<u>315</u> 383	<u>353</u> 416	<u>588</u> 651	
Среднее	<u>748</u> 810	<u>760</u> 813	<u>798</u> 828	<u>932</u> 910	
Салат					
Год	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ	
	0–30	0–30	0–30	0–30	
2021	<u>925</u> 1154	<u>1449</u> 1724	<u>1484</u> 1792	<u>1607</u> 1828	
2022	<u>951</u> 1115	<u>992</u> 1115	<u>1021</u> 1124	<u>1095</u> 1133	
2023	<u>1819</u> 1935	<u>1724</u> 1935	<u>1856</u> 1958	<u>1900</u> 1966	
Среднее	<u>1232</u> 1401	<u>1388</u> 1591	<u>1454</u> 1625	<u>1534</u> 1642	
Редис (осенний посев)					
Год	Без орошения	60 % НВ	70 % НВ	80 % НВ	
	0–30	0–30	0–30	0–30	
2021	<u>1265</u> 1469	<u>1370</u> 1508	<u>1372</u> 1500	<u>1403</u> 1507	
2022	<u>272</u> 320	<u>371</u> 458	<u>412</u> 498	<u>443</u> 539	
2023	<u>308</u> 421	<u>307</u> 421	<u>337</u> 442	<u>456</u> 510	
Среднее	<u>615</u> 737	<u>682</u> 796	<u>707</u> 813	<u>767</u> 852	

Таблица 2. Среднее значение биотермических коэффициентов водопотребления овощей

Месяц	Декада	Биотермические коэффициенты, мм/°С			
		Лук	Редис (весенний посев)	Салат	Редис (осенний посев)
Май	2	0,06	0,08	–	–
	3	0,07	0,14	–	–
Июнь	1	0,08	0,14	–	–
	2	0,11	–	–	–
	3	0,15	–	–	–
Июль	1	0,19	–	0,10	–
	2	0,24	–	0,15	–
	3	0,26	–	0,12	–
Август	1	0,22	–	0,13	–
	2	0,17	–	–	–
	3	0,11	–	–	0,09
Сентябрь	1	–	–	–	0,13
Среднее за вегетацию		0,15	0,12	0,13	0,11

Таблица 3. Суммарное водопотребление, урожайность и коэффициент водопотребления овощей (2021–2023 гг.)

Год	Предполивная влажность, % НВ	Водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления k_y , м ³ /т
Лук				
2021	Без орошения и удобрений	2655 2528	15,48	<u>172</u> <u>163</u>
	Без орошения с удобрением	2777 2528	17,75	<u>156</u> <u>142</u>
	60 % НВ	2865 2753	27,0	<u>106</u> <u>102</u>
	70 % НВ	3079 2994	28,26	<u>109</u> <u>106</u>
	80 % НВ	3439 3224	44,67	<u>77</u> <u>72</u>
2022	Без орошения и удобрений	2582 2916	14,10	<u>183</u> <u>207</u>
	Без орошения с удобрением	2520 2916	16,34	<u>154</u> <u>178</u>
	60 % НВ	2718 3067	26,30	<u>103</u> <u>117</u>
	70 % НВ	3223 3384	38,76	<u>83</u> <u>87</u>
	80 % НВ	3411 3526	42,79	<u>80</u> <u>82</u>

Продолжение табл. 3

2023	Без орошения и удобрений	<u>2415</u> 2828	11,36	<u>213</u> 249
	Без орошения с удобрением	<u>2406</u> 2828	13,74	<u>175</u> 206
	60 % НВ	<u>2324</u> 2828	13,68	<u>170</u> 207
	70 % НВ	<u>2719</u> 3318	31,57	<u>86</u> 105
	80 % НВ	<u>3176</u> 3460	45,13	<u>70</u> 77
Среднее	Без орошения и удобрений	<u>2551</u> 2758	13,65	<u>187</u> 202
	Без орошения с удобрением	<u>2568</u> 2758	15,94	<u>161</u> 173
	60 % НВ	<u>2635</u> 2883	22,33	<u>118</u> 129
	70 % НВ	<u>3007</u> 3230	32,86	<u>92</u> 98
	80 % НВ	<u>3342</u> 3401	44,20	<u>76</u> 77
Редис (весенний посев)				
2021	Без орошения	<u>713</u> 749	24,73	<u>29</u> 30
	60 % НВ	<u>714</u> 749	25,81	<u>28</u> 29
	70 % НВ	<u>737</u> 750	34,95	<u>21</u> 21
	80 % НВ	<u>749</u> 751	36,56	<u>20</u> 21
2022	Без орошения	<u>1218</u> 1297	15,30	<u>74</u> 85
	60 % НВ	<u>1252</u> 1307	16,50	<u>76</u> 79
	70 % НВ	<u>1303</u> 1317	16,75	<u>78</u> 79
	80 % НВ	<u>1460</u> 1327	29,50	<u>50</u> 45
2023	Без орошения	<u>312</u> 383	23,17	<u>13</u> 17
	60 % НВ	<u>315</u> 383	24,89	<u>13</u> 15
	70 % НВ	<u>353</u> 416	31,54	<u>11</u> 13
	80 % НВ	<u>588</u> 651	38,26	<u>15</u> 17
Среднее	Без орошения	<u>713</u> 749	21,07	<u>34</u> 36
	60 % НВ	<u>714</u> 749	22,40	<u>32</u> 34
	70 % НВ	<u>737</u> 750	27,75	<u>27</u> 27
	80 % НВ	<u>749</u> 751	34,77	<u>22</u> 22

Салат				
2021	Без орошения	925 1154	0	-
	60 % НВ	1449 1724	5,05	287 341
	70 % НВ	1484 1792	6,21	239 289
	80 % НВ	1607 1828	7,96	202 230
2022	Без орошения	951 1115	2,79	341 400
	60 % НВ	992 1115	2,84	349 393
	70 % НВ	1021 1124	3,96	258 284
	80 % НВ	1095 1133	9,44	116 120
2023	Без орошения	1819 1935	3,45	527 561
	60 % НВ	1724 1935	3,43	503 564
	70 % НВ	1856 1958	5,38	345 364
	80 % НВ	1900 1966	8,65	220 227
Среднее	Без орошения	1232 1365	2,08	592 656
	60 % НВ	1388 1560	3,77	368 414
	70 % НВ	1454 1587	5,18	281 306
	80 % НВ	1534 1604	8,68	177 185
Редис (осенний посев)				
2021	Без орошения	1265 1469	7,42	170 198
	60 % НВ	1370 1508	9,34	147 161
	70 % НВ	1372 1500	9,35	147 160
	80 % НВ	1403 1507	14,20	99 106
2022	Без орошения	272 320	23,70	11 14
	60 % НВ	371 458	25,20	15 18
	70 % НВ	412 498	29,0	14 17
	80 % НВ	443 539	34,67	13 16

2023	Без орошения	<u>308</u> 421	22,25	<u>14</u> 19
	60 % НВ	<u>307</u> 421	24,30	<u>13</u> 17
	70 % НВ	<u>337</u> 442	31,60	<u>11</u> 14
	80 % НВ	<u>456</u> 510	36,90	<u>12</u> 14
Среднее	Без орошения	<u>615</u> 784	17,79	<u>35</u> 44
	60 % НВ	<u>682</u> 844	19,61	<u>35</u> 43
	70 % НВ	<u>707</u> 862	23,32	<u>30</u> 37
	80 % НВ	<u>767</u> 901	28,59	<u>27</u> 32

В 2021 г. значения коэффициента водопотребления при естественном увлажнении составили: для лука – 172 м³/т (163 – по методу максимальных суточных температур); для редиса (весенний посев) – 29 (30) м³/т; для салата – 0,0 м³/т; для редиса (осенний посев) – 170 (198) м³/т.

В вариантах с капельным орошением: для лука наибольшее значение k_y зафиксировано в варианте 2 – 109 (106) м³/т. В варианте 3 для редиса весеннего посева – 28 (29) м³/т; для салата – 287 (341) м³/т; для редиса осеннего посева – 147 (161) м³/т.

Минимальные значения k_y в вариантах опыта 1: для лука – 77 (72) м³/т; для редиса (весенний посев) – 20 (21) м³/т; для редиса (осенний посев) – 99 (106) м³/т; для салата – 202 (230) м³/т.

В 2022 г. в варианте с естественным увлажнением коэффициент k_y имел следующие значения: для лука – 183 (207) м³/т; для редиса (весенний посев) – 74 (79) м³/т; для салата – 341 (400) м³/т; для редиса (осенний посев) – 11 (14) м³/т.

В вариантах с капельным орошением значения коэффициента распределились следующим образом: в варианте 1 – 80 (82) м³/т для

лука; 75 (68) м³/т для редиса (весенний посев); 116 (120) м³/т для салата; 13 (16) м³/т для редиса (осенний посев); в варианте 2 – 83 (87) м³/т для лука; 78 (79) м³/т для редиса (весенний посев); 258 (284) м³/т для салата; 14 (17) м³/т для редиса (осенний посев); в варианте 3 – 103 (117) м³/т для лука; 82 (85) м³/т для редиса (весенний посев); 349 (393) м³/т для салата; 15 (18) м³/т для редиса (осенний посев).

В 2023 г. значения коэффициента k_y на вариантах опыта с естественным увлажнением составили: для лука – 213 (249) м³/т; для редиса (весенний посев) – 13 (17) м³/т; для салата – 527 (561) м³/т; для редиса (осенний посев) – 14 (19) м³/т.

В вариантах с капельным орошением коэффициент k_y принял следующие значения: в варианте 1 – 70 (77) м³/т для лука; 15 (17) м³/т для редиса (весенний посев); 220 (227) м³/т для салата; 12 (14) м³/т для редиса (осенний посев), в варианте 2 – 86 (105) м³/т для лука; 11 (13) м³/т для редиса (весенний посев); 345 (364) м³/т для салата; 11 (14) м³/т для редиса (осенний посев); в варианте 3 – 170 (207) м³/т для лука; 13 (15) м³/т для редиса (весенний посев); 503 (564) м³/т для салата; 13 (17) м³/т для редиса (осенний посев).

Выводы

В результате полевых опытов установлено, что из-за неравномерности выпадения атмосферных осадков и распределения тепла внутри вегетационного периода требуется дополнительное увлажнение овощей как в засушливые, так и в средневлажные по осадкам годы.

Водопотребление овощей на дерново-подзолистых суглинистых почвах зависит от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода, норм капельного полива и составляет при естественном увлажнении в слое 0–30 см: лука (без удобрений) – от 242 до 266 мм;

лука с удобрением – от 241 до 278 мм; редиса весеннего посева – от 31 до 122 мм; салата – от 93 до 182 мм; редиса осеннего посева – от 31 до 127 мм.

При капельном поливе в слое 0–30 водопотребление лука – от 232 до 344 мм; редиса весеннего посева – от 32 до 146 мм; салата – от 99 до 190 мм; редиса осеннего посева – от 31 до 140 мм.

Библиографический список

1. Овощеводство : учебник / Г. И. Тараканов, В. Д. Мухин, К. А. Шунин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос-С, 2003. – 472 с.
2. Лукашевич, В. М. Режим орошения репчатого лука в условиях северо-восточной зоны Беларуси / В. М. Лукашевич, А. А. Константинов // Мелиорация. – 2025. – № 2 (112). – С. 17–24.
3. Константинов, А. А. Экономическая эффективность возделывания овощных культур при капельном поливе в северо-восточной зоне Беларуси / А. А. Константинов, В. М. Лукашевич // Мелиорация. – 2025. – № 2 (112). – С. 32–38.
4. Голченко, М. Г. Потребность и эффективность орошения сельскохозяйственных угодий в условиях Могилевской области / М. Г. Голченко, В. И. Желязко, О. А. Шавлинский // Вестник Белорус. гос. с.-х. академии. – 2013. – № 1. – С. 73–78.
5. Лихацевич, А. П. Дождевание сельскохозяйственных культур. Основы режима при неустойчивой естественной влагообеспеченности / А. П. Лихацевич. – Минск : Беларус. наука, 2005. – 278 с.
6. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – Москва : Колос, 1985. – 352 с.

Поступила 5 сентября 2025 г.