

Оригинальная статья

УДК 502/504:631.6:633.41

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-21-30

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА ЗОНЫ АЭРАЦИИ ПРИ ПОЛИВЕ СТОЛОВОЙ МОРКОВИ

ПЧЕЛКИН ВИКТОР ВЛАДИМИРОВИЧ[✉], д-р техн. наук, профессор
9766793@mail.ru

ВЛАДИМИРОВ СТАНИСЛАВ ОЛЕГОВИЧ, старший преподаватель
isvo@bk.ru

КУЗИНА ОКСАНА МИХАЙЛОВНА, старший преподаватель
kuzina_om@rgau-msha.ru

ХЕРБЕИК БАССЕЛ, аспирант

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

Предметом исследований является исследование закономерности изменения элементов водного баланса зоны аэрации и корнеобитаемого слоя, по сохранению плодородия дерново-подзолистых почв Среднерусской провинции Нечерноземной зоны России, а также получение оптимально высоких урожаев столовой моркови. Объектом исследований элементов водного баланса зоны аэрации и корнеобитаемого слоя являются дерново-подзолистые почвы и почвенная влага водораздельных территорий, связанные с выращиванием столовой моркови. В основу теоретических и методологических исследований положены фундаментальные труды российских и зарубежных ученых по определению режима орошения растений. Научные эксперименты включали в себя полевые, лизиметрические и лабораторные опыты, которые исследовались в различные по климатическим условиям годы. В полевых и лизиметрических опытах, при обработке и анализе материалов научных исследований были применены метод водного баланса, теория движения подземных вод, математическое и физическое моделирование, математическая статистика. Исследования, проведенные в лизиметрах и на экспериментальном участке в 2011-2013 гг., явились основой выявления закономерности в изменении элементов водного баланса зоны аэрации и корнеобитаемого слоя при поливе столовой моркови на дерново-подзолистых почвах. Заявленная тема статьи разрабатывалась на основании методики, полученной и сформулированной на кафедре сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Выявлена связь между влажностью дерново-подзолистой почвы и оросительными нормами столовой моркови. Плотность связи между исследуемыми величинами равна $0,982 \pm 0,067$. Установлена закономерность изменения водопотребления столовой моркови от влажности дерново – подзолистой почв при поливе. Плотность связи между исследуемыми величинами равна $0,984 \pm 0,055$.

Ключевые слова: лизиметры, поливная норма, водопотребление, водный режим, столовая морковь, оросительные нормы, влажность почвы, оросительные нормы, водный баланс

Формат цитирования: Пчелкин В.В., Владимиров С.В., Кузина О.М., Хербейк Б. Закономерности изменения элементов водного баланса зоны аэрации при поливе столовой моркови // Природообустройство. – 2021. – № 5. – С. 21-30. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-21-30.

© Пчелкин В.В., Владимиров С.В., Кузина О.М., Хербейк Бассел., 2021

Original article

REGULARITIES OF CHANGES IN THE ELEMENTS OF THE WATER BALANCE OF THE AERATION ZONE WHEN WATERING TABLE CARROTS

PCHELKIN VIKTOR VLADIMIROVICH[✉], doctor of technical sciences, professor
9766793@mail.ru

VLADIMIROV STANISLAV OLEGOVICH, senior lecturer
isvo@bk.ru

KUZINA OKSANA MIKHAILOVNA, senior lecturer

kuzina_om@rgau-msha.ru

HERBENIK BASSEL, PhD student

Russian State Agrarian University– Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

The subject of research is the study of the regularity of changes in the elements of the water balance of the aeration zone and the root layer, to preserve the fertility of sod-podzolic soils of the Central Russian province of the Non-Chernozem zone of Russia and to obtain optimally high yields of table carrots. The object of the research, elements of the water balance of the aeration zone and the root layer are sod-podzolic soils and soil moisture of the watershed territories associated with the cultivation of table carrots. The basis of theoretical and methodological research is based on the fundamental works of Russian and foreign scientists on determining the irrigation regime of plants. Scientific experiments included field, lysimetric and laboratory experiments which were studied in different climatic conditions in the years. In field and lysimetric experiments, in the processing and analysis of scientific research materials, the method of water balance, the theory of groundwater movement, mathematical and physical modeling, mathematical statistics were applied. The studies carried out in lysimeters and at the experimental site in 2011-2013 were the basis for obtaining the regularity of changes in the elements of the water balance of the aeration zone and the root layer when watering table carrots on sod-podzolic soils. In field and lysimetric experiments, in the processing and analysis of scientific research materials, the method of water balance, the theory of groundwater movement, mathematical and physical modeling, mathematical statistics were applied. The studies carried out in lysimeters and at the experimental site in 2011-2013 were the basis for obtaining the regularity of changes in the elements of the water balance of the aeration zone and the root layer when watering table carrots on sod-podzolic soils. The stated topic of the article was developed on the basis of the methodology obtained and formulated at the department of agricultural land reclamation, forestry and land management of the Russian state agricultural academy named after C.A. Timiryazev. The relationship between the moisture content of sod-podzolic soil and irrigation norms of table carrots was obtained. The density of the relationship between the studied values is $0.982 + 0.067$. The regularity of changes in the water consumption of table carrots from the humidity of sod – podzolic soils during irrigation is established. The bonding density between the studied values is $0.984 + 0.055$.

Keywords: lysimeters, water application rate, water consumption, water regime, table carrots, irrigation norms, soil moisture, irrigation norms, water balance

Format of citation: Pchelkin V.V., Vladimirov S.O., Kuzina O.V., Herbenik B. Regularities of changes in the elements of the water balance of the aeration zone when watering table carrots // *Prirodobustroystvo*. – 2021. – № 5 – S. 21-30. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-21-30.

Данные научные исследования проводились в рамках реализации гранта в субсидии Минобрнауки РФ от 23 марта 2021 г. № 075-15-2021-032 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 grant in the subsidy of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 075-15-2021-032 dated 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 within the framework of the federal project «Development of infrastructure for research and training» of the national project «Science and Universities».

Введение. Площадь пашни Среднерусской провинции Нечерноземной зоны России занимает 9 млн га. На 85% этой территории расположены дерново-подзолистые почвы, причем 30% этих почв сформировалось на водораздельных площадях.

Получение максимальной продуктивности сельскохозяйственных культур зависит от поддержания в период вегетации оптимального водно-воздушного режима почв, который достигается с помощью современных оросительных систем. При проектировании

оросительных систем необходимо определять режим полива растений, в расчете которого используются водобалансовые уравнения полей. Однако следует отметить, что нет данных по связи оросительных норм и суммарного водопотребления столовой моркови с влажностью дерново-подзолистых почв водоразделов. Поэтому исследования закономерности изменения элементов водного баланса зоны аэрации и расчетного слоя почвы являются актуальными.

В России водобалансовыми исследованиями почв занимались ученые А.М. Алпатыев, В.П. Остапчик (1971) [1], Н.В. Данильченко (1978) [2], Н.Н. Дубенок, В.В. Бородычев, Р.А. Чечко (2017) [3], А.Н. Костяков (1960) [4], И.В. Ольгаренко, М.С. Эфендиев (2016) [5], Х.М. Сафин, А.Д. Лукманова, Н.А. Зотова (2016) [6], С.И. Харченко (1975) [7] и др.

За рубежом вопросами водного баланса почв занимались А.Е. Badr, G.A. Bakeer, M.T. El-Tantawy (2006) [8], Н.М. Eid, N.G. Ainer, M.A. Metwally (1987) [9], A.S. Ovchinnikov, V.V. Borodychev, M.N. Lytov, V.S. Bocharnikov, S.D. Fomin, O.V. Bocharnikova, E.S. Vorontsova [10], R. Evett Steven, C. Kenneth, C. Stone, Robert. Schwartz, A. Susan, Д.О'Shaughnessy, D. Paul, К. Colaizzi, Scott [11], Т.К. Zin El-Abidin 2006 [12] и др.

Для исследований закономерности изменения элементов водного баланса зоны аэрации и расчетного слоя при поливе столовой моркови на дерново-подзолистых почвах водоразделов в 2011-2013 гг. были выполнены экспериментальные исследования на опытном участке кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства

и землеустройства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, расположенном в Московской области. По результатам исследований была определена связь влажности дерново-подзолистой почвы водоразделов Среднерусской провинции Нечерноземной зоны России с оросительной нормой и водопотреблением столовой моркови.

Материалы и методы. Климат и почвы. Среднерусская провинция относится к умеренному средне-континентальному поясу с мягкой зимой на западе и умеренно прохладным летом на востоке. Сумма биологически активных температур воздуха колеблется от 1600 до 2200°C, а продолжительность периода вегетации – 110-140 дней. Количество атмосферных осадков, выпадающих за год, составляет 525-650 мм. В наиболее солнечные и жаркие периоды лета, когда температура воздуха повышается до +30°C и выше возникают засушливые периоды без дождей, средняя длительность этих периодов может быть от 4-6 до 10-30 сут., что резко снижает влажность почвы. Это отрицательно сказывается на росте и развитии растений.

Температура воздуха за период вегетации (май-сентябрь) в среднем оказалась равной в 2011 г. – 18,2°C; в 2012 г. – 16,8°C; в 2013 г. – 17,8°C, а количество атмосферных осадков за период вегетации столовой моркови составило 195, 228, 189 мм.

По температуре воздуха май-сентябрь 2011, 2013 гг. были теплыми, 2012 г. – средним. По количеству выпавших осадков 2011, 2013 гг. были засушливыми, 2012 г. – средним.

Карта среднерусской провинции Нечерноземной зоны РФ представлена на рисунке 1.

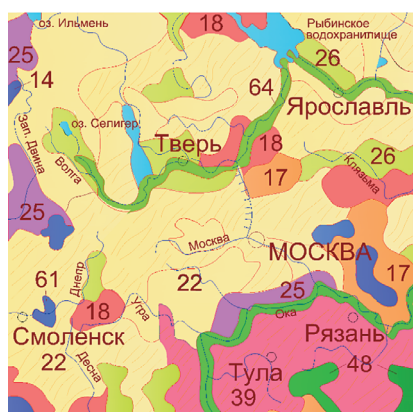


Рис. 1. Карта среднерусской провинции Нечерноземной зоны РФ

Fig.1. Map of the Central Russian province of the Non-chernozem zone of the Russian Federation

Данные источников литературы показывают, что дерново-подзолистые почвы содержат 0,8-2% гумуса; кислотность рН 4,0-5,5; насыщенность основаниями – до 80%; бедные азотом, фосфором, кальцием. Почвы Нечерноземной

зоны по гранулометрическому составу представлены суглинками, супесями и песчаными почвами.

Проведенные научные исследования по 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. Порозность почвы изменяется от 0,35 до 0,43 см³/см³ (в долях от объема). Параметры единиц измерения полной влагоемкости (ПВ) меняются от 0,31 до 0,40 см³/см³ (в долях от объема). Наименьшая влагоемкость (НВ) располагается от 0,25 до 0,37 см³/см³ (в долях от объема). Гигроскопичность составляет 0,04-0,055 в долях от объема. Коэффициент фильтрации (К_ф) 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 рН_{сол} составила 6,6-7,7. Содержание нитратного азота (NO₃) составило 19,9-25,3 мг/кг, аммонийного (NH₄) – 6,43-13,18 мг/кг, фосфо-

ра (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 Московской области Сергиево-Посадском районе. Географические координаты экспериментальной базы – 56°34' северной широты, 38°09' восточной долготы. Схема экспериментальной базы проведения полевых опытов представлена на рисунке 2.

Площадь делянок для проведения научных исследований составила 80 кв. м, каждая – в трехкратной повторности. Варианты: 1 – влажность почвы исследовалась в пределах (0,6-0,7) от полной влагоемкости (ПВ); 2 – в пределах (0,7-0,8) ПВ; 3 – в пределах (0,8-0,9) ПВ; 4 (контроль) – без полива.

Почва опытного участка дерново-подзолистая сформировалась на покровном суглинке. Дозы удобрений под столовую морковь во время проведения опытов составили N100P80K15.

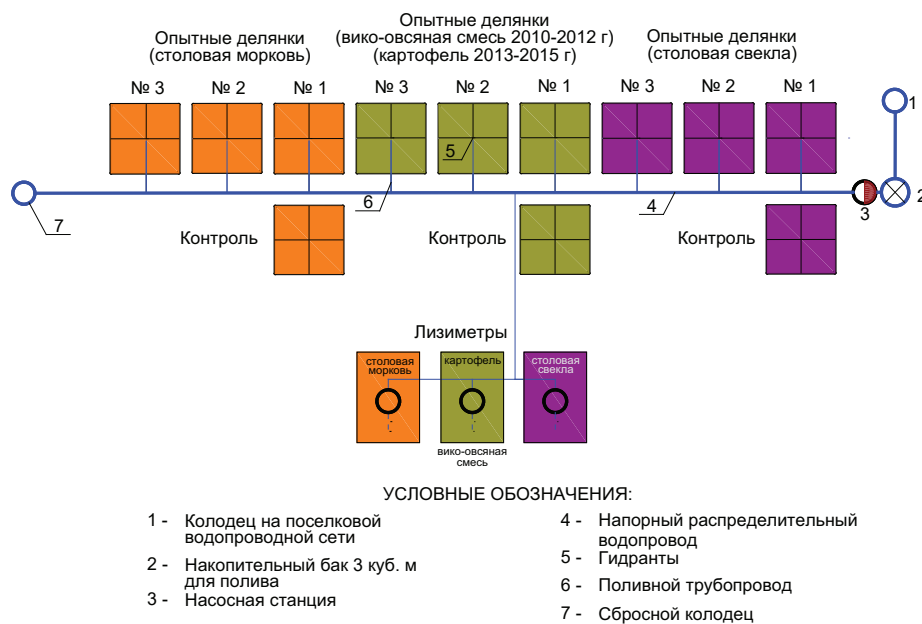


Рис. 2. Схема экспериментальной базы проведения полевых опытов

Fig. 2. Scheme of the experimental base of field experiments

Оросительная система смонтирована из комплектующих фирмы Rain Bird. При этом были использованы распылители дождя с телескопической частью (серия 1812). Радиус полива был принят за 4,5 м, расход воды распылителя составил 0,84 м³/ч. Влажность почвы измерялась до глубины 0,5 м, при этом эта глубина делилась на горизонты по 0,1 м (всего 5 горизонтов), где делались замеры влагомером TRIME-FM

с датчиком – ТЗ. Проверка влагомера проводилась термостатно-весовым методом. Построение графиков, получение уравнений регрессии и коэффициентов детерминации осуществлялись с помощью программы Microsoft Office Excel 2007. Суммарное водопотребление определялось при помощи металлических лизиметров круглого сечения, сопрягаемых с поддонами, а также трубами компенсации и инфильтрации.

Высота цилиндров лизиметров с поддонами составила 2 м, диаметр круга – 1,6 м. Лизиметры были смонтированы с монолитами почвы без нарушения ее структуры. Схема конструкции лизиметра представлена на рисунке 3. Агрохимические и водно-физические показатели определялись в специализированной лаборатории.

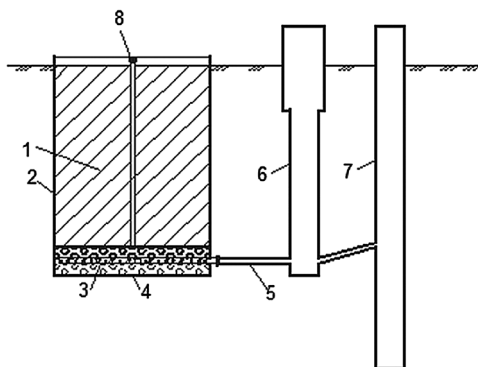


Рис. 3. Схема конструкции лизиметра:

- 1 – монолит почвы ненарушенной структуры;
- 2 – металлический цилиндр;
- 3 – дренаж внутри поддона; 4 – корпус поддона;
- 5 – труба сопряжения; 6 – труба компенсации;
- 7 – труба инфильтрации;
- 8 – труба для зонда влагомера

Fig. 3. Scheme of the lysimeter structure:

- 1 – monolith of soil of undisturbed structure;
- 2 – metal cylinder; 3 – drainage inside the pallet;
- 4 – pallet body; 5 – connecting pipe;
- 6 – compensation pipe; 7 – infiltration pipe;
- 8 – tube for moisture meter probe

Расчет водопотребления. Суммарное водопотребление столовой моркови получали с помощью круглых металлических лизиметров с поддоном и трубами компенсации и инфильтрации. Лизиметры имеют следующие параметры: высота без поддона – 1,8 м, площадь поперечного сечения – 2 м². Водобалансовое уравнение в рассматриваемых условиях имеет следующий вид, мм:

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

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

Все элементы водного баланса лизиметров, кроме водопотребления, измерялись, а водопотребление столовой моркови определялось как невязка уравнения.

Расчет потенциального суммарного водопотребления проводили по формуле (2),

методика которой была разработана В.В. Пчелкиным в 2003 г. [9, 10]:

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

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

Результаты и их обсуждение. Лизиметрические опыты, проведенные на дерново-подзолистых почвах, позволили установить закономерности изменения между элементами водного баланса зоны аэрации. Исследования, проведенные на опытных участках при различной влажности дерново-подзолистых почв, установили закономерности между элементами водного баланса в расчетном горизонте. Водные балансы в лизиметрах в период вегетации моркови столовой при влажности дерново-подзолистой почвы в пределах 0,7-0,8 ПВ за 2011...2013 гг. даны в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что в период вегетации 2011...2013 гг. формировался вертикальный ток воды, который увеличивался после выпадения осадков и поливов, и наоборот, снижался в периоды отсутствия дождей и поливов.

Глубина грунтовых вод в лизиметрах составляла 1,6 м. Такое положение грунтовых вод сделало невозможным формирование подпитывания зоны аэрации.

Сумма осадков за вегетацию моркови столовой в 2011...2013 гг. составляла соответственно годам 195, 282, 189 мм. Количество выпавших осадков за периоды вегетации 2011...2013 гг. повлияло на формирование оросительных норм, которые получились равными соответственно годам 292, 168, 225 мм. При этом суммарная водоподача ($Oc + M$) соответственно годам получилась равной 487, 450, 414 мм.

Суммарное испарение в засушливые годы 2011...2013 гг. равно 444, 350, 302 мм. Впитывание воды в лизиметрах оказалось равным: в 2011 г. $q = -64$ мм; 2012 г. $q = -110$ мм; в 2013 г. $q = -123$ мм. Закономерность формирования вертикального тока воды в зависимости от влажности дерново-подзолистой почвы вызывает необходимость более детального изучения, поэтому исследования по этому вопросу будут продолжены. В 2011 г. запасы влаги за вегетацию моркови столовой снизились на 24 мм, а в 2012...2013 гг. – на 10 мм. Взаимосвязь суммарного испарения моркови столовой с влажностью дерново-подзолистой почвы представлена на рисунке 5.

Таблица 1

Водный баланс, мм, зоны аэрации в лизиметрах в течение вегетации столовой моркови за 2010-2012 гг.

Table 1

Water balance (mm) of aeration zone in lysimeters during the vegetation of table carrots for 2010-2012

Элементы водного баланса <i>Elements of water balance</i>	Месяцы, декады / <i>Months, decades</i>											Сум- ма <i>sum</i>
	Май / <i>May</i>		Июнь / <i>June</i>			Июль / <i>July</i>			Август / <i>August</i>			
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2011 год												
Начальные влагозапасы <i>Initial moisture reserves</i>	–	442	429	412	401	381	374	372	401	406	422	–
Конечные влагозапасы <i>Final moisture reserves</i>	–	429	412	401	381	374	372	401	406	422	421	–
Изменение влагозапасов <i>Changing moisture reserves</i>	–	–13	–17	–11	–15	–12	–2	+29	+5	+16	–1	–21
Осадки, мм <i>Precipitation, mm</i>	–	11	2	15	15	4	7	63	4	67	7	195
Водопотребление, мм <i>Water consumption, mm</i>	–	39	41	29	43	48	63	80	38	39	24	444
Водообмен, мм <i>Water exchange, mm</i>	–	0	3	1	2	12	3	11	16	12	4	64
Поливы, мм <i>Irrigation, mm</i>	–	15	25	4	15	44	57	57	55	0	20	292
2012 год												
Начальные влагозапасы <i>Initial moisture reserves</i>	–	490	499	519	505	505	489	508	492	474	473	–
Конечные влагозапасы <i>Final moisture reserves</i>	–	499	519	505	505	489	508	492	474	473	480	–
Изменение влагозапасов <i>Changes of moisture reserves</i>	–	+9	+20	–14	0	–16	+19	–16	–18	–1	+7	–10
Осадки, мм <i>Precipitation, mm</i>	–	29	49	74	16	0	35	25	11	10	33	282
Водопотребление, мм <i>Water consumption, mm</i>	–	29	23	33	40	49	32	55	50	21	18	350
Водообмен, мм <i>Water exchange, mm</i>	–	1	6	55	2	9	10	0	9	0	18	110
Поливы, мм <i>Irrigation, mm</i>	–	10	0	0	26	42	26	14	30	10	10	168
2013 год												
Начальные влагозапасы <i>Initial water reserves</i>	416	420	438	430	431	433	425	436	449	430	417	–
Конечные влагозапасы <i>Final water reserves</i>	420	438	430	431	433	425	436	449	430	417	406	–
Изменение влагозапасов <i>Changes of water reserves</i>	4	18	–8	1	2	–8	11	13	–19	–13	–11	–10
Осадки, мм <i>Precipitation, mm</i>	15	47	9	9	4	12	20	43	16	4	10	189
Водопотребление, мм <i>Water consumption, mm</i>	9	19	40	31	35	38	35	20	24	31	20	302
Водообмен, мм <i>Water exchange, mm</i>	7	20	15	18	9	12	13	10	11	6	1	123
Поливы, мм <i>Irrigation, mm</i>	5	10	38	41	42	30	39	0	0	20	0	225

nd – the number of decades for the growing season of table carrots;

a, b – empirical coefficients depending on the climatic zone, soil type and crop.

Водные балансы, мм, на опытных делянках в течение вегетации моркови столовой в связи с влажностью дерново-подзолистой почвы в 2011...2013 гг.

Table 2

Water balances (mm) on experimental plots during the vegetation of table carrots due to the moisture content of sod-podzolic soil in 2011...2013

Варианты	Ос	Еф	$\frac{W}{ПВ}$	+М	ΔW	-g
2011 г.						
Делянка 1	195	409	0,64	235	-22	-43
Делянка 2	195	449	0,73	303	0	-49
Делянка 3	195	422	0,81	265	-18	-56
Контроль	195	240	0,52	0	-73	-28
2012 г.						
Делянка 1	282	328	0,66	149	+18	-85
Делянка 2	282	344	0,72	174	+24	-88
Делянка 3	282	334	0,81	185	+15	-115
Контроль	282	225	0,48	0	-39	-96
2013 г.						
Делянка 1	204	329	0,62	207	-3	-54
Делянка 2	204	337	0,72	204	+8	-63
Делянка 3	204	336	0,81	213	+13	-68
Контроль	204	203	0,38	0	-37	-38

На делянке № 1 при выращивании моркови столовой средняя влажность почвы по годам поддерживалась на следующих уровнях: 0,64 ПВ; 0,66 ПВ; 0,62 ПВ. При такой влажности почвы потребовалось дать оросительные нормы, равные 235, 149, 207 мм. При этих условиях суммарное водопотребление составило 409, 328, 329 мм.

На делянке № 2 средняя влажность почвы составила в 2011 г. 0,73 ПВ; в 2012, 2013 гг. – 0,72 ПВ. Для поддержания такой влажности почвы потребовалось дать следующие оросительные нормы соответственно по годам: 303, 174, 204 мм. При этом суммарное водопотребление составило 449, 344, 337 мм.

На делянке № 3 средняя влажность почвы за все годы исследований составила 0,81 ПВ. В этом случае необходимо было подать следующие оросительные нормы: 265, 185, 213 мм. При этом суммарное водопотребление составило 422, 334, 336 мм.

На контроле средняя влажность почвы без полива составила по годам 0,52, 0,48 ПВ, 0,38 ПВ. При такой влажности почвы суммарное водопотребление оказалось равным по годам 240, 225, 203 мм.

Анализ результатов исследований на делянках показал, что чем выше влажность почвы, тем выше оросительные нормы и выше суммарное водопотребление. Эта закономерность прослеживается до влажности почвы 0,7 ПВ. При влажности почвы 0,7-0,8 ПВ наблюдается

стабилизация оросительных норм и суммарного водопотребления. При влажности почвы более 0,8 ПВ наблюдается снижение оросительных норм и суммарного водопотребления, что связано со снижением урожайности столовой моркови.

Суммарное водопотребление представляет собой основной расходный элемент водного баланса корнеобитаемого слоя почвы. Следует отметить, что глубокое расположение грунтовых вод создает инфильтрацию влаги из расчетного горизонта почвы в нижерасположенные слои. Переток влаги в более глубокие горизонты приводит к увеличению оросительной нормы. Результаты представленные на рисунке 4 показывают, что оросительные нормы (M_i/M_{max}) моркови столовой хорошо коррелируют со средней за вегетацию 2011...2013 гг. влажностью дерново-подзолистой почвы экспериментальных делянок. Доказательством значимой тесноты связи, рассматриваемых величин, является высокие коэффициенты корреляции $0,960 \pm 0,088$ и детерминации $0,922$.

Связь суммарного водопотребления с влажностью почвы представлена на рисунке 5.

Зависимость суммарного испарения моркови столовой от влажности дерново-подзолистой почвы представлена на рисунке 5. Плотность этой связи составляет $0,974 \pm 0,072$, а коэффициент детерминации – $0,948$, из чего следует, что теснота связи между рассматриваемыми величинами является высокой.

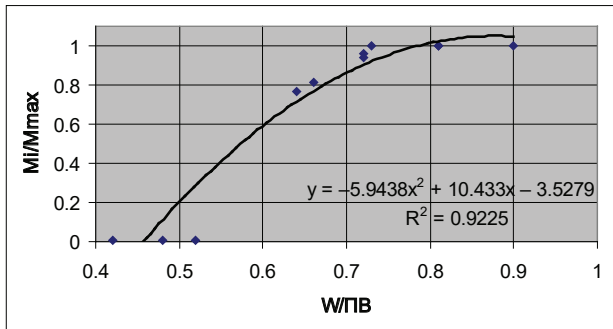


Рис. 4. Закономерность изменения относительной влажности дерново-подзолистой почвы и относительных оросительных норм (M_i/M_{max}) столовой моркови (в диапазоне 0-50 см) при дождевании:

M_{max} -2011 г. – 303 мм; M_{max} -2012 г. – 185 мм;
 M_{max} -2013 г. – 213 мм

Fig. 4. Regularity of change of relative humidity of sod-podzolic soil and relative irrigation norms (M_i/M_{max}) of table carrots (in the range of 0-50 cm) at sprinkling:

M_{max} -2011 г. – 303 мм, M_{max} -2012 г. – 185 мм,
 M_{max} -2013 г. – 213 мм

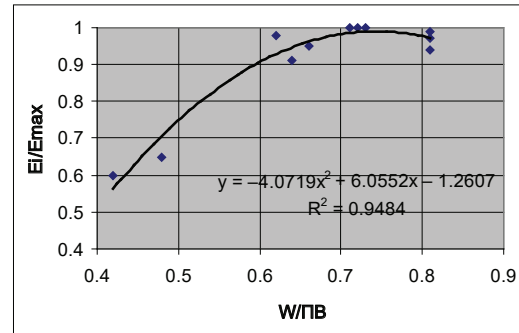


Рис. 5. Зависимость суммарного испарения моркови столовой от влажности дерново-подзолистой почвы (данные за 2011...2013 гг.)

Fig. 5. Dependence of the total evaporation of table carrots on the moisture content of sod-podzolic soil (data 2011... 2013)

Из графика следует, что с повышением влажности почвы до 0,70 ПВ повышается суммарное испарение моркови столовой. Дальнейшее повышение влажности почвы практически не влияет на суммарное испарение.

Таблица 3

Коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы при расчете суммарного водопотребления столовой моркови

Table 3

Coefficients that take into account the decrease in soil moisture when calculating the total water consumption of table carrots

Влажность почвы <i>Soil moisture</i>	70% ПВ	60% ПВ	50% ПВ	40% ПВ
Коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы при расчете суммарного водопотребления <i>Coefficients that take into account the decrease in soil moisture when calculating the total water consumption</i>	1,0	0,90	0,75	0,50

Связь оросительных норм столовой моркови с влажностью расчетного слоя почвы дана на рисунке 1. Плотность связи рассматриваемых величин составляет $0,960 \pm 0,088$. Получена связь суммарного водопотребления столовой моркови с влажностью дерново-подзолистой почвы водоразделов (рис. 2). Плотность связи рассматриваемых величин составляет $0,974 \pm 0,072$. Результаты таблиц 1-3, а также тесная корреляционная связь, представленная на рисунках 4, 5 между рассматриваемыми признаками, позволяют рекомендовать коэффициенты (табл. 3) для расчета суммарного водопотребления столовой моркови при определении режима орошения данной культуры.

Выводы

С целью получения стабильного урожая столовой моркови для снабжения населения Центральной части Нечерноземной зоны России необходима мелиорация орошаемых земель. Способ полива – дождевание. Проведенное научное исследование является уникальным, потому что на дерново-подзолистых почвах водоразделов в рассматриваемой зоне получена связь оросительных норм и суммарного водопотребления столовой моркови с влажностью расчетного слоя почвы. Коэффициент корреляции связи оросительных норм с влажностью почвы составляет $0,960 \pm 0,088$, а суммарного водопотребления с влажностью почвы $0,974 \pm 0,072$. При этом получены

коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы ниже оптимальных значений. В случае снижения влажности почвы ниже оптимальных пределов необходимо применять коэффициенты, учитывающие уровень снижения влажности почвы при орошении столовой моркови.

В результате проведенного исследования научное сообщество выявило в условиях проведения опытов связь оросительных норм и суммарного водопотребления столовой

моркови с влажностью расчетного слоя почвы и новые, ранее неизвестные научные знания.

Проектным фирмам рекомендуется использовать коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы. Фермерам рекомендуется использовать результаты научных исследований при эксплуатации оросительных систем.

В будущем 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. Данильченко Н.В. Методические особенности расчета оросительных норм с.-х. культур в НЧЗ РСФСР / В кн.: Техника и технология механизированного орошения. – М.: Колосс, 1982. – С. 177-186.
3. Бородычев В.В., Чечко Р.А., Дубенок Н.Н. Малоинтенсивное дождевание картофеля в Нижнем Поволжье: монография. – М.: Проспект, 2017. – 176 с.
4. Костяков А.Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960. – С. 54-66.
5. Ольгаренко И.В., Эфендиев М.С. Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов // Мелиорация и водное хозяйство: Мат-лы научно-практ. конф. – Новочеркасск: Изд-во: «Лик», 2016. – С. 50-53.
6. Пчелкин В.В. Обоснование мелиоративного режима осушаемых пойменных земель: Монография. – М.: КолосС, 2003. – 253 с.
7. Пчелкин В.В. Разработка природоохранных мероприятий при регулировании водного режима на осушаемых пойменных землях: Научный отчет НИС МГМИ // Ф.М. Зимин. Е.С. Кожанов и др. – Гос. регистр. № 0186.011740. – М., 1990. – 331 с.
8. 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).
9. Харченко С.И. Управление водным режимом на мелиорируемых землях в Нечерноземной зоне. – М.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 206-208.

References

1. Alpatjev A.M., Ostapchik V.P. K osnovaniyu formirovaniya polivnyh norm s ispolzovaniem bioklimaticheskogo metoda rascheta summarnogo ispareniya // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 1971. – Vyp. 19. – S. 13-17.
2. Danilchenko N.V. Metodologicheskie osobennosti rascheta orositelnyh norm s. – h kultur v NCHZ RSFSR. / V kn.: Tehnika i tehnologiya mehanizirovannogo orosheniya. – M.: Koloss, 1982. – S. 177-186.
3. Borodychev V.V., Chechko R.A., Dubenok N.N. Maloinetnsivnoe dozhdevanie kartofelya v Nizhnem Povolzhje.: monograph. – M.: Prospect, 2017. – 176 s.
4. Kostyakov A.N. Osnovy melioratsii. – M.: Selkhozgiz, 1960. – S. 54...66.
5. Olgarenko I.V., Efendiev M.S. Summarnoe vodopoteblenie selskohozyajstvennyh kultur v usloviyah defitsita vodnyh resursov // Sb. Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. Mat-ly nauchno-prakt. konf. – Novocher-kassk: Izd-vo: OOO «Lik», 2016. – S. 50-53.
6. Pchelkin V.V. Obosnovanie meliorativnogo rezhima osushaemyh pojmennyh zemel: monographiya. – M.: KolosS, 2003. – 253 s.
7. Pchelkin V.V. Razrabotka prirodohrannyh meroproyatij pri regulirovanii vodnogo rezhima na osushaemyh pojmennyh zemlyah // F.M. Zimin. E.S. Kozhanov i dr. / Nauchnyj otchet NIS MGMI. – № Gos. Registr. 0186.011740. – M., 1990. – 331 s.
8. Safin H.M., Lukmanova A.D., Zotova N.A. Optimizatsiya rezhima orosheniya lyutserny na seno v pochvenno-klimaticheskikh usloviyah Bashkortostana // Vestnik Izhevskoj gosudarstvennoj selskohozyajstvennoj akademii. – 2016. – No. 1. – S. 3-7. – URL: <https://rucont.ru/efd/391422> (data obrashcheniya: 07/28/2021).
9. Kharchenko S.I. Upravlenie vodnym rezhimom na melioriruemyh zemlyah v Nechernozemnoj zone. – M.: Gidrometeoizdat, 1987. – S. 206-208.

10. **Badr A.E., Bakeer G.A., El-Tantawy M.T.** and Awwad A.H. (2006). Sprinkler and trickle irrigation affected by climatic conditions in upper Egypt. *Misr J. Ag. Eng.* – 23 (2). – Pp. 346-361.

11. **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. – 12.

12. **Klatt F.** Die Steuerung den Berechnung nach dem Berechnungsdiagramm. – *Z. Landeskultur.* – № 2. – 1967. – S. 89-98.

13. 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). – Pp. 909-913.

14. **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 37. – Pp. 751-759 (2019).

15. **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.

10. **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.

11. **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. 12. **Klatt F.** Die Steuerung den Berechnung nach dem Berechnungsdiagramm. – *Z. Landeskultur H. 2, 1967,* – s. 89-98.

13. 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.* – № 24 (5). 2018. – P. 909-913.

14. **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 37, pages 751-759 (2019)* Cite this article.

15. **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.

Критерии авторства

Пчелкин В.В., Владимиров С.В., Кузина О.М., Хербейк Б. выполнили теоретические и практические 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 06.09.2021 г.

Одобрена после рецензирования 18.10.2021 г.

Принята к публикации 01.11.2021 г.

Criteria of authorship

Pchelkin V.V., Vladimirov S.V., Kuzina O.M., Herbenik B. conducted theoretical and practical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, 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 06.09.2021

Approved after reviewing 18.10.2021

Accepted for publication 01.11.2021