

На правах рукописи

ВЛАДИМИРОВ СТАНИСЛАВ ОЛЕГОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА ОРОШЕНИЯ СТОЛОВОЙ
МОРКОВИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ
ВОДОРАЗДЕЛОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА
НЕЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ**

Специальность: 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена на кафедре сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Пчелкин Виктор Владимирович,**
доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных мелиораций ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Овчинников Алексей Семенович,**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой прикладной геодезии, природообустройства и водопользования ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»

Исаева София Давыдовна,
доктор технических наук, заведующая отделом экосистемного водопользования и экономики ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова»

Ведущая организация: ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Защита состоится «28» ноября 2023 г. в 12:00 на заседании диссертационного совета 35.2.030.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу: 127434, г.Москва, ул. Прянишникова, д. 19, учебный корпус №28, аудитория 201, тел.: +7 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета 35.2.030.07,
кандидат технических наук, доцент

Мартынова Н.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Около 30% площади центральной части Нечернозёмной зоны РФ заняты дерново-подзолистыми почвами на водоразделах. Производство на этих почвах большой урожайности моркови столовой связано с её влажностью, которую следует регулировать в наилучших, с точки зрения роста и развития моркови, пределах. В этой связи сельскохозяйственные земли рассматриваемого региона нуждаются в орошении дождеванием. Поэтому расчет режима орошения является составной и необходимой частью проекта оросительных систем.

Существующие в настоящее время методы определения режима орошения моркови столовой не в полной мере учитывают её биологические особенности и влажность почвы при определении суммарного испарения, не учитывают влагообмен между зоной аэрации и подземными водами. Поэтому для расчета водопотребления моркови столовой необходимо определить биологические коэффициенты и коэффициенты, позволяющие учитывать снижение влажности расчетного слоя почвы, а также коэффициенты уравнения регрессии, зависящие от климатической зоны и типа почвы.

Кроме этого, следует выяснить оптимальные параметры регулирования влажности дерново-подзолистых почв и глубину расчетного слоя при выращивании моркови столовой.

Из изложенного следует, что режим орошения моркови столовой в рассматриваемых условиях отсутствует. Поэтому необходимо провести научные исследования на дерново-подзолистых водоразделах Центрального района Нечернозёмной зоны России. В качестве примера более подробно рассмотрена Московская область.

Степень разработанности темы исследования. Исследования в области режима орошения и водопотребления сельскохозяйственных культур в различных природных условиях опубликованы в работах: Аверьянова С.Ф., Алпатьева А.М., Бочарникова В.С., Будаговского А.И., Бу-дыко М.И., Ванеяна С.С., Голованова А.И.,

Данильченко Н.В., Дубенка Н.Н., Иванова Н.Н., Кирейчевой Л.В., Костякова А.Н., Константинова А.Р., Макси-менко В.П., Ольгаренко Г.В., Пчелкина В.В., Сухарева Ю.И., Шуравилина А.В., Шабанова В.В., Харченко С.И. и других ученых.

При расчёте режима орошения необходимо иметь формулу для расчёта водопотребления. Известные формулы, включающие в себя биологические и другие коэффициенты, были разработаны в определенных природно-климатических зонах, для определенных сельскохозяйственных культур, поэтому применение их в других условиях вызывает необходимость соответствующей корректировки и уточнения.

В научной литературе известны рекомендации по диапазону регулирования влажности почвы следующих учёных Костякова А.Н., Константинова А.Р., Андреева Н.Г., Ванеяна С.С., Дубенка Н.Н., Маркова Е.С., Маслова Б.С., Максименко В.П., Минаева И.В., Никольского Ю.Н., Ольгаренко Г.В., Пчелкина В.В., Струнникова Э.А., Шабанова В.В. и других ученых. Однако рекомендации различных исследователей по наилучшим пределам регулирования влажности дерново-подзолистых почв при выращивании моркови столовой на водоразделах не совпадают и требуют уточнения.

Известны публикации Вавилова П.П., Никитина И.С., Пчелкина В.В., Романова Ю.А., Абдель Таваба Зедана и других ученых по глубине промачиваемо-го слоя почвы при орошении. Различия рекомендаций по данному показателю составляют для моркови столовой 20...60 см. Значительный разброс этой величины требует выполнить экспериментальные исследования и уточнить глубину распространения корней моркови столовой и глубину расчетного слоя почвы для рассматриваемых услови.

Цель и задачи исследований. Целью работы является обоснование режима орошения столовой моркови на дерново-подзолистых почвах водоразделов Московской области.

Согласно поставленной цели исследований были сформулированы и решены задачи:

– обоснование поливного режима моркови столовой в условиях выполнения научных исследований;

- уточнение оптимальных параметров регулирования влажности дерново-подзолистых почв в течение периода вегетации, при выращивании моркови столовой;
- получение формулы для определения суммарного испарения моркови столовой. Получение биологических коэффициентов и коэффициентов, позволяющих учитывать снижение влажности почвы при производстве моркови столовой. Определение коэффициентов, характеризующих природную зону и почвы;
- уточнение величины промачиваемого слоя почвы при производстве моркови столовой и её орошении в течение вегетации;
- усовершенствование математической модели путем введения в модель результатов экспериментальных исследований для расчета поливного режима столовой моркови при дождевании дерново-подзолистых почв водоразделов Центрального района Нечернозёмной зоны России.

Научная новизна. Научная новизна исследования режима орошения столовой моркови на дерново-подзолистых почвах водоразделов Центрального района Нечернозёмной зоны России заключается в:

- разработке рационального режима орошения моркови столовой в рассматриваемых условиях;
- уточнении оптимальных параметров регулирования влажности дерново-подзолистых почв в течение периода вегетации моркови столовой;
- получении формулы для определения водопотребления моркови столовой, а также биологических коэффициентов и коэффициентов, позволяющих учитывать снижение влажности почвы при выращивании моркови столовой, при этом определены коэффициенты, учитывающие климатическую зону и тип почвы;
- уточнении глубины промачиваемого слоя почвы при орошении в период вегетации при производстве моркови столовой;
- усовершенствование математической модели путем введения в модель результатов экспериментальных исследований в период вегетации столовой

моркови при дождевании дерново-подзолистых почв на водоразделах Центрального района Нечернозёмной зоны России.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты диссертационных исследований позволили усовершенствовать поливной режим столовой моркови на дерново-подзолистых почвах Центрального района Нечернозёмной зоны России при выращивании моркови столовой, улучшить водно-воздушный режим дерново-подзолистых почв и связанный с ним тепловой и питательный режимы, и на основе этого повысить урожайность исследуемой культуры. Вместе с тем для расчета режима орошения использовалась усовершенствованная автором математическая модель Голованова А.И., а также оценивалась продуктивность моркови столовой по Шабанову В.В. в зависимости от влажности дерново-подзолистых почв в расчетном слое. Полученные результаты научных исследований применимы при проектировании гидромелиоративных систем.

Методология и методы исследования. Методика исследований заключалась в проведении комплекса экспериментальных и расчетно-теоретических работ, что позволило разработать рациональный проектный режим орошения столовой моркови на дерново-подзолистых почвах водоразделов Центрального района Нечернозёмной зоны России, тем самым повысить точность определения объема воды для орошения моркови столовой, увеличить урожайность исследуемой культуры.

Методология диссертационных исследований заключалась в использовании общенаучных методов исследований: теоретических и практических. Практические методы с учетом специфики исследований включали в себя лабораторные, полевые и лизиметрические опыты, проводимые в различные по метеорологическим условиям годы. Теоретические методы включали в себя теорию математической статистики, теорию потока подземных вод, водобалансовый метод исследований, математическое моделирование.

Положения, выносимые на защиту:

- оптимальные параметры регулирования влажности дерново-подзолистых почв в течение периода вегетации моркови столовой;
- формула для определения водопотребления моркови столовой;
- биологические коэффициенты и коэффициенты, позволяющие учитывать снижение влажности почвы при выращивании моркови столовой;
- коэффициенты, учитывающие климатическую зону и тип почвы;
- рациональный режим орошения моркови столовой в рассматриваемых условиях.

Степень достоверности и апробация результатов исследований.

Достоверность основных положений и выводов работы подтверждается применением стандартных экспериментальных методов исследования; поверенной контрольно-измерительной аппаратуры; проверенных программно-вычислительных комплексов; взаимным сопоставлением данных, полученных расчетным и экспериментальным способом.

Основные положения и результаты исследований по теме диссертации докладывались, обсуждались и были одобрены на V-ой Международной (9-ой Всероссийской) научной конференции молодых ученых и специалистов: «Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации» ФГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» (Коломна, ФГНУ ВНИИ «Радуга», 17-19 октября 2012 г.); на VII-ой Международной (XI-ой Всероссийской) научной конференции молодых ученых и специалистов: «Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации» в рамках 16-ой Российской агропромышленной выставки «Золотая осень-2014» (Москва, ВДНХ, 11 октября 2014 г.); на Международном научном форуме «Проблемы управления водными и земельными ресурсами», посвященном 150-летию РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева и памяти Н.И. Железнова – первого ректора Петровской земледельческой и лесной академии (Москва, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 30 сентября 2015 г.).

Апробация работы проводилась в рамках XXIV Всероссийской агропромышленной выставки «Золотая осень 2022». Автор был награжден золотой медалью и дипломом за разработку: «Технология возделывания моркови на мелиорируемых землях»

Основные результаты, изложенные в диссертации, получены лично автором. Соискатель принимал непосредственное участие в экспериментальных исследованиях (проведении, обработке и анализе полученных данных).

Публикации результатов исследований. По материалам диссертации опубликовано девять печатных работ из них семь работ в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертация изложена на 171 странице, состоит из введения, основной части, содержащей 26 рисунков и 37 таблиц, заключения, списка литературы (включает 145 наименований) и 12 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведена характеристика природных условий Центрального района Нечернозёмной зоны России и объекта исследований: выполнен анализ литературных источников по теме диссертации.

Разработкой методов расчета режима орошения овощных культур для Нечернозёмной зоны России занималось множество ученых, в том числе Алексанкин А.В., Дружинин Н.И., Ванеян С.С., Меньших А.М., Данильченко Н.В., Дубенок Н.Н., Зимин Ф.М., Коротков Б.И., Маслов Б.С., Никольский Ю.Н., Пчелкин В.В., Бунина Н.П., Ольгаренко Г.В., Цекоева Ф.К., Мезенцев В.С., Харченко С.И., Шабанов В.В., Шуравилин А.В., Циприс Д.Б. и др. Известные методы расчета режима орошения разрабатывались для конкретных условий: климатических, почвенных, гидрогеологических и для определенных сельскохозяйственных культур. Поэтому применение их в условиях, отличающихся от тех, в которых они были разработаны, приведет к значительным погрешностям при вычислении режима орошения. В этой связи следует провести научные исследования и уточнить, и скорректировать известные методики, или разработать для конкретных условий новую методику.

Натурные исследования проводились на стационаре (ОМП) «Дубна» РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, расположенном в Московской области, Сергиево-Посадском районе Московской области в период 2011...2013 гг.

Распределение основных климатических параметров на стационаре (ОМП) «Дубна» в 2011...2013 гг. было следующим: по величине дождевых осадков 2011 и 2013 гг. за вегетацию моркови столовой были острозасушливыми, а 2012 г. – засушливым. В 2011...2013 гг. осадков выпало 195, 282 и 189 мм, что составило 12, 38 и 11% обеспеченности. Обеспеченность испаряемости моркови столовой за период вегетации 2011, 2012 и 2013 гг. оказалась равной соответственно годам 93,0, 60,0 и 26%% или 444, 350 и 302 мм. Следовательно, 2011 г. - оказался острозасушливым, 2012 г. – засушливым, а 2013 г. - влажным. По дефициту испаряемости (Е-Ос) за период вегетации 2011 г. оказался острозасушливым, а 2012...2013 гг. – средними. Обеспеченность дефицита испаряемости моркови столовой за период вегетации во время выполнения экспериментов составила соответственно годам 87, 50 и 46 %% или 234, 79, 64 мм. По температуре воздуха 2011 г. был очень жарким, 2012 г – средним, а 2013 г – теплым, среднемесячная температура воздуха за вегетацию моркови была соответственно годам 18,2°C; 16,8°C, 17,8°C.

Почвы опытного участка ОМП «Дубна» дерново-подзолистые, среднесуглинистые.

Плотность твердой фазы почвы меняется в вертикальной плоскости в диапазоне от 2,31 до 2,72 г/см³. Колебания значений плотности почвы по глубине составляет 1,29...1,92 см³/см³. Изменение пористости почвы составляет 0,46...0,34 см³/см³. Значения полной влагоёмкости (ПВ) меняются от 0,43 до 0,30 см³/см³. Варьирование предельной полевой влагоёмкости (НВ) равняется 0,37...0,25 см³/см³. Максимальная гигроскопичность находится в пределах от 0,02 до 0,07 см³/см³. Водопроницаемость почвы опытного участка низкая; 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.

В соответствии с классификацией Качинского Н.А., почвы экспериментального участка состоят из средних суглинков. Гранулометрические показатели дерново-подзолистых почв опытного участка мало меняются с изменением глубины, и только с глубины 60...80 см наблюдается повышение включения илистых частиц.

В главе 2 приводится методика экспериментальных исследований.

Научные исследования проводились в лабораторных и натуральных условиях, с использованием физического и математического моделирования.

В основу научных исследований были положены методики, разработанные на кафедре сельскохозяйственных мелиораций РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Айдаровым И.П., Головановым А.И., Никольским Ю.Н. и Буниной Н.П., Пчелкиным В.В., Шабановым В.В.

В лизиметрах моделировались закономерности изменения элементов водного баланса при наилучшей влажности почвы. На опытных делянках моделировались закономерности изменения урожайности моркови столовой (сорта «Шантанэ») в зависимости от влажности почвы. Обработка результатов научных исследований опирались на методы, предложенные Головановым А.И., Доспеховым Б.А.

Площадь делянок составляла 80 м² каждая. При этом все делянки делили на 4 учетные площадки величиной 3,2х3,2 м. Влажность почвы поддерживалась с помощью поливов в следующем диапазоне: 1 вариант – (0,60...0,70) ПВ; 2 вариант – (0,70...0,80) ПВ; 3 вариант – (0,80...0,90) ПВ; 4 – контроль (без орошения).

Полив осуществлялся при помощи оросительной системы Rain Bird (модель 1812). В центре делянок были смонтированы гидранты, представляющие собой форсунки дождя с телескопической частью. Вода к гидранту подавалась по оросительной сети, для этого под землей была проложена коллекторная труба диаметром 32 мм, сопряженная с поливными трубопроводами (ПТ) диаметром 20 мм. Вода на полив забиралась из поселкового водопровода. В начале до полива вода подается в полимерную емкость (объемом 3м³), далее из емкости она подается по соединительному водоводу к насосу, затем от него попадает к гидрантам и форсункам, которые распыляют воду в виде дождя на делянках. Насосная станция

колодезного типа собрана из железобетонных элементов. Диаметр колодца - 1,5 м, глубина - 2,0 м. Насос марки «Grundfos» CR5-9, имеет напор 5 бар, расход 4,5 м³/ч.

Для измерения влажности почвы в 2011 г. до глубины 0,5...1,0 м использовали трубчатый датчик TRIME-FM (IMKO GmbH). В 2012...2013 гг. совместно с влагомером TRIME-FM для определения влажности почвы применяли прибор НН2-SM300 (DELTA - T DEVICES LTD). Влажность почвы измеряли послойно с шагом 0,1 м. Для этого на соответствующих глубинах были вставлены трубки ПВХ диаметром 0,04 м. Определения влажности почвы проводили через 5 дней, от начала посева моркови, а также перед орошением и после выпадения осадков и проведения поливов.

В течение вегетации через 10 дней определяли глубину залегания грунтовых вод «хлопушкой».

Измерения элементов водного баланса проводили на отдельно взятой делянке. Водный баланс экспериментальных делянок, на которых моделировался различный диапазон увлажненности почвы, имеет вид (мм):

$$E = \delta\bar{W} + O_c + m - q, \quad (1)$$

где E – суммарное испарение; O_c – атмосферные осадки; m – поливная норма; $\delta\bar{W}$ – колебания влагозапасов в увлажняемом слое почвы; $-q$ – переток влаги из корнеобитаемой зоны почвы в подстилающие горизонты.

Количество дождевых вод измеряли с помощью наземных осадкомеров ГГИ-3000.

Исследования водного режима на делянках 1...4 проводили на базе внесения рациональных доз удобрений. До посева моркови столовой вносились азот, фосфор, калий дозой N₁₀₀ P₈₀ K₁₅₀. Оптимальные нормы удобрений определялись из баланса питательных веществ N, P, K. Установление доз питательных веществ выполнялось по формуле Кружилина Л.С.

Наращение корневой системы моркови столовой изучался количественно-весовым методом. Для этого, на делянке отбирались монолиты почвы с корневой системой моркови столовой размерами 200x200 мм и из них выделялись после отмыва корни.

Для определения закономерностей формирования водного баланса и суммарного водопотребления, а также для изучения водообмена в 2011 г. был установлен лизиметр конструкции ВСЕГИНГЕО с монолитом грунта ненарушенной структуры. Высота лизиметра 1,8 м, площадь поперечного сечения – 2,0 м². Для создания вокруг лизиметра идентичного микроклимата площадка размером 5x7 м вокруг него засеивалась морковью столовой.

Влажность почвы в увлажняемом горизонте измеряли 1 раз в 5 суток и 1 раз в 10 суток в зоне аэрации монолита почвы. Ежедневно измеряли уровень воды в трубе инфильтрации «хлопушкой» и по разности замеров определяли объем просочившейся воды. Нормы подачи воды на полив в лизиметрах и на делянках определяли по формуле (4), при этом учитывалась глубина расчетного слоя почвы, зависящая от периода роста и развития моркови столовой.

Промачиваемый горизонт земли устанавливали согласно увеличению корневой системы первые три декады после посева – 0,2 м, далее до уборки урожая – 0,4-0,5 м. Дата посадки моркови столовой - 15 мая, сбор урожая 10...11 августа.

Глава 3 посвящена получению формулы для расчета водопотребления моркови столовой в рассматриваемых условиях.

Проведен качественный и количественный анализ различных методов по определению водопотребления моркови столовой.

Получена формула (2) для расчёта суммарного испарения моркови столовой:

$$E = K_w K_6 a d_s^b, \quad (2)$$

где E – водопотребление моркови столовой мм/дек; K_w – коэффициент, учитывающий влажность корнеобитаемого слоя почвы; K_6 – биологический коэффициент моркови столовой; a – коэффициент уравнения регрессии, b – показатель степени уравнения регрессии, зависящие от типа почвы и климатической зоны; d_s – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декадные периоды, мб/дек;

Таблица 1 – Значения коэффициента и показателя степени (а и b) уравнения регрессии

Коэффициент уравнения регрессии, a	Показатель степени уравнения регрессии, b	Овощная культура
1,06	0,86	Морковь столовая

Таблица 2 – Распределение значений биологического коэффициента моркови столовой по декадам

Номер декады, n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение биологического коэффициента, K_6	0,77	0,87	0,93	0,98	1,01	1,02	1,01	0,97	0,91	0,83

Таблица 3 – Значения коэффициента, учитывающего отклонение влажности почвы от оптимального уровня

Значения коэффициента, учитывающего отклонение влажности почвы, K_w	Влажность почвы
1,0	0,70ПВ
0,90	0,60ПВ
0,75	0,50ПВ
0,50	0,40ПВ

Связь потенциального испарения моркови столовой, рассчитанного по формуле (2), с суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декадные периоды представлена на рисунке 1.

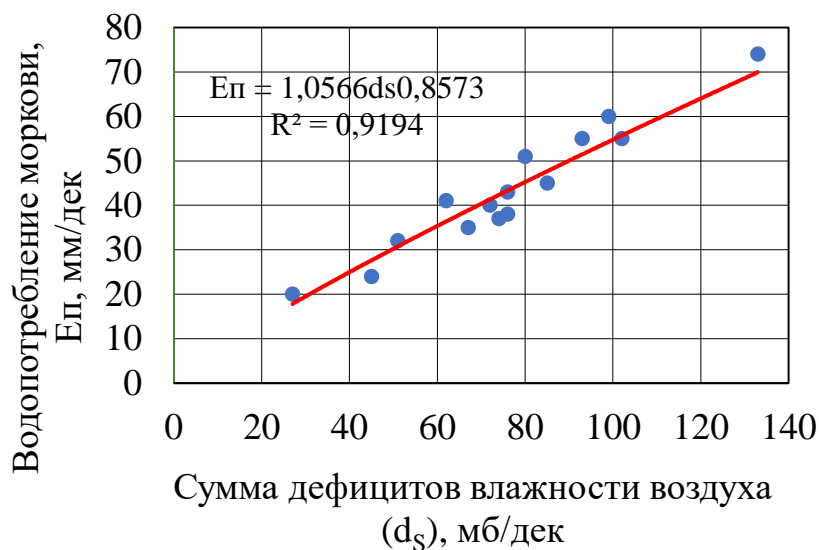


Рисунок 1 – Зависимость потенциального испарения столовой моркови от суммы среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декадные периоды в 2011...2013 гг.

Коэффициент корреляции связи этой зависимости равен $0,959 \pm 0,073$, а коэффициент детерминации $0,919$. Это показывает, что изменения суммарного испарения моркови столовой за декадные периоды на 92% обусловлены суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха.

Глава 4 посвящена анализу результатов экспериментальных исследований по водному режиму дерново-подзолистых почв, при выращивании столовой моркови в условиях дождевания.

Установлена связь урожайности столовой моркови с влажностью почвы. Наибольшая урожайность столовой моркови $58,8$ т/га была получена при средней за вегетацию влажности почвы $0,30 \text{ см}^3/\text{см}^3$ ($0,72\text{ПВ}$).

График связи относительной урожайности ($y = Y_i/Y_{max}$) моркови столовой с влажностью дерново-подзолистой почвы в условиях орошения дождеванием в 2011...2013 гг., представлен на рисунке 2.

Взаимосвязь между элементами водного баланса в зоне аэрации изучалась в лизиметре, а в расчетном, корнеобитаемом слое дерново-подзолистой почвы – на опытных делянках.

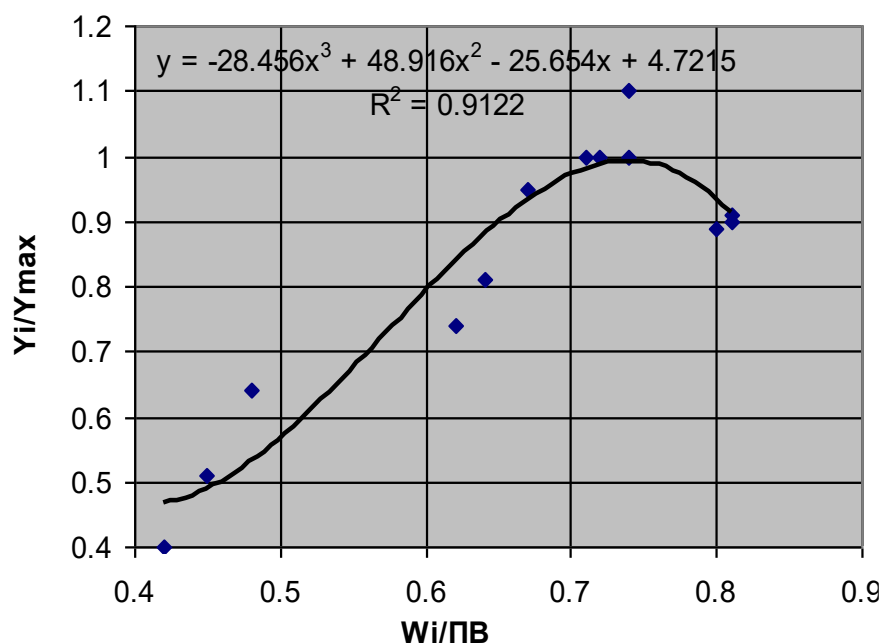


Рисунок 2 – Закономерность изменения относительной урожайности ($y = Y_i/Y_{max}$) моркови столовой от увлажненности дерново-подзолистой почвы при поливе дождеванием: Y_i – урожайность в конкретном (i-ом) году, т/га; Y_{max} – наибольшая урожайность в том же году; $ПВ=0,42 \text{ см}^3/\text{см}^3$

Коэффициент корреляции между рассматриваемыми величинами составляет $0,955 \pm 0,0937$, а коэффициент детерминации – $0,912$, что свидетельствует о тесной связи между рассматриваемыми величинами.

Применяя рекомендации Константинова А.Р. о снижении урожайности сельскохозяйственных культур на 10...15% от максимальной величины, и понизив урожайность моркови столовой на 10%, получим диапазон влажности дерново-подзолистой почвы (0,66...0,79)ПВ.

Сумма осадков за вегетацию моркови столовой в 2011...2013 гг. равнялась сообразно годам 195, 282, 189 мм. Количество дождевых осадков повлияло на нормы орошения, которые за рассматриваемый срок составили соответственно 292, 168, 225 мм. Исходя из этого суммарная водоподача (Ос+М) соответственно по годам составила: 487, 450, 414 мм.

Суммарное испарение в засушливые годы 2011...2013 гг. было равно 444, 350, 302 мм. Просачивание влаги через зону аэрации в лизиметрах составило в 2011 г. $q = -64$ мм, 2012 г. $q = -110$ мм, а в 2013 г. $q = -123$ мм. Взаимосвязь между просачиванием влаги через зону аэрации и влажностью дерново-подзолистой почвы

предполагает более глубокое изучение, которое будет осуществлено в дальнейших исследованиях. В 2011 г. запасы влаги за вегетацию моркови столовой снизились на 24 мм, а в 2012...2013 гг. снизилась на 10 мм.

Столовая морковь очень требовательна к влажности почвы, особенно в фазе прорастания семян и первые две декады после посева. На основе экспериментальных данных о развитии корневой системы моркови столовой рекомендованы следующие значения глубины расчетного слоя дерново-подзолистой почвы водоразделов при выращивании моркови столовой: 1...4 декады (от начала вегетации) – 0,2 м; 5...6 декады – 0,3 м; 7...10 декады – 0,4...0,5 м.

Одним из факторов, определяющим выбор поливной техники является интенсивность дождя, которая должна быть ниже скорости впитывания воды в почву. Опытным путем была определена скорость просачивания влаги в почву при затоплении. Закономерность изменения скорости просачивания влаги в почву при дождевании приведена на рисунке 3.

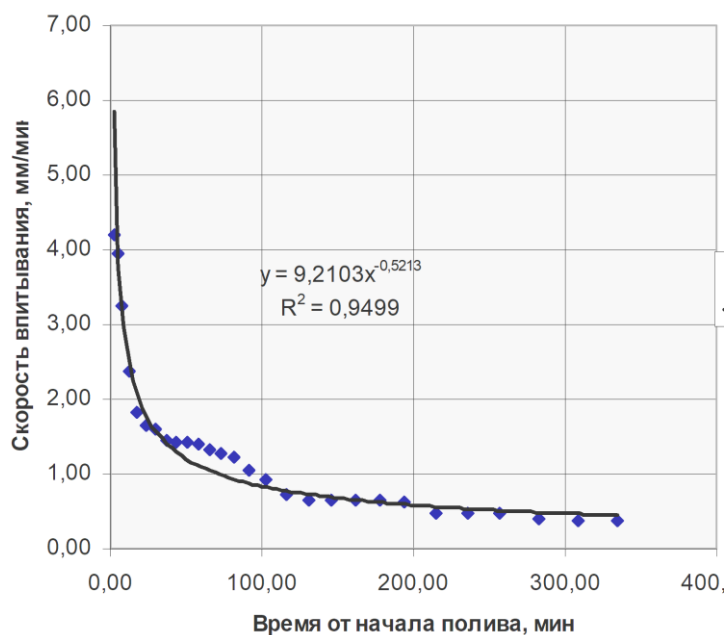


Рисунок 3 – Закономерность изменения скорости просачивания влаги в почву при дождевании: 1 – скорость просачивания воды в почву при поливе; 2 – средняя интенсивность распылителя поливной воды Rain Bird (модель 1812)

Средняя интенсивность дождя форсунки с выдвигной частью Rain Bird (модель 1812) составляет 0,39 мм/мин и не превышает скорости впитывания воды в почву в рассматриваемых условиях. В результате, для поливной нормы 25 мм время

полива, осуществляемое распылителем Rain Bird (модель 1812), равно 64 минуты, для поливной нормы 30 мм – 76 минут, 35 мм – 90 минут, 40 мм – 102 минуты.

Рассматриваемая сельскохозяйственная культура является столовой, поэтому изучение влияния уровня влажности дерново-подзолистых почв на качество моркови столовой имеет большое значение для человека.

Анализ экспериментальных данных показывает, что с повышением влажности почвы, изменений содержания сырой золы в корнеплодах столовой моркови не наблюдалось. Содержание калия в корнеплодах столовой моркови повышается с увеличением влажности почвы. Прослеживается незначительное повышение содержания в столовой моркови общего азота с увеличением влажности дерново-подзолистой почв. По фосфору изменения не существенные и закономерности не прослеживаются. Изменения содержания кальция в корнеплодах столовой моркови незначительны. С увеличением влажности дерново-подзолистой почвы от 0,66ПВ до 0,72ПВ наблюдалось незначительное повышение содержания в столовой моркови магния с 0,16 до 0,48% абсолютно сухого вещества. Дальнейшее повышение влажности почвы до 0,81ПВ привело к снижению содержания магния в моркови столовой до 0,04 % абсолютно сухого вещества.

Накопление нитратов в товарной части столовой моркови зависело от влажности дерново-подзолистой почвы. Так, в 2013 г при влажности дерново-подзолистой почвы 0,66 ПВ содержание нитратов в корнеплодах столовой моркови оказалось равным 149 мг/кг, при 0,72 ПВ – 325, при 0,81 ПВ – 1120 мг/кг. Если учесть, что ПДК по нитратам для столовой моркови составляет 400 мг/кг, то поддержание влажности дерново-подзолистой почвы в интервале (0,60-0,80) ПВ не приводит к превышению ПДК. При дальнейшем повышении влажности почвы было отмечено значительное превышение ПДК в корнеплодах столовой моркови. Поэтому ранее сделанные рекомендации по влажности дерново-подзолистой почвы (0,66...0,79) ПВ правильные, с точки зрения накопления нитратов.

При выращивании сельскохозяйственных культур не допустимо снижение плодородия земель, поэтому во время проведения полевого эксперимента по выращиванию столовой моркови были организованы научные исследования по

определению уровня плодородия почв (до и после вегетации) при орошении водоразделов Московской области в течение периода вегетации.

Уровень кислотности pH_{KCl} составил 6,6...6,8.. Различные режимы влажности почвы существенного воздействия на кислотность дерново-подзолистых почв не выявили. Небольшие изменения кислотности связаны с высоким содержанием обменного кальция в верхнем горизонте почвы.

На фоне внесения торфа 100 т/га и минеральных удобрений $N_{100}P_{80}K_{150}$ отмечено увеличение содержания гумуса в почве. Повышение количества фосфора в верхнем горизонте почвы также вызвано торфованием и внесением P_{80} с минеральными удобрениями. До закладки полевого эксперимента количество калия в почве было невысокое, однако внесение K_{150} с удобрениями увеличило его содержание. Эксперименты с морковью столовой при уровне влажности почвы в диапазоне (0,66...0,79)ПВ и совместное внесение N_{100} привело к падению подвижных форм азота (NH_4). Принятый диапазон регулирования влажности дерново-подзолистой почвы (0,66...0,79)ПВ, внесение минеральных удобрений и органических удобрений не позволило существенно уменьшить содержание кальция (Ca). Содержание магния (Mg) оказалось неизменным.

Глава 5 посвящена разработке и обоснованию режима орошения столовой моркови на дерново-подзолистых почвах водоразделов.

При выборе методики расчета оптимального режима орошения дождеванием столовой моркови учитывалась возможность корректировки водного режима дерново-подзолистых почв водораздельных площадей, с учетом природоохранных мероприятий, а также возможности модернизации с использованием современных научных знаний.

Основываясь на вышеизложенном и проведенном сравнительном анализе по определению водного режима, и режима орошения столовой моркови на дерново-подзолистых почвах водораздельных площадях была выбрана модель Голованова А.И., в основе которой заложено дифференциальное уравнение передвижения почвенной влаги в ненасыщенной зоне.

Усовершенствование модели было выполнено на основании материалов экспериментальных исследований (2011...2013 гг.) по следующим позициям:

- уточнены оптимальные пределы регулирования влажности дерново-подзолистых почв в течение периода вегетации при выращивании моркови столовой в рассматриваемых условиях (0,66...0,79)ПВ или (0,74...0,89)НВ;

- использована полученная нами эмпирическая зависимость для расчета суммарного испарения и полученные биологические коэффициенты, и коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы ниже оптимального значения и коэффициенты, учитывающие природно-климатическую зону и почвы.

На рисунке 3 и в таблице 4 приведена закономерность связи экспериментальных данных оросительных норм с данными, определенными по модели Голованова А.И.

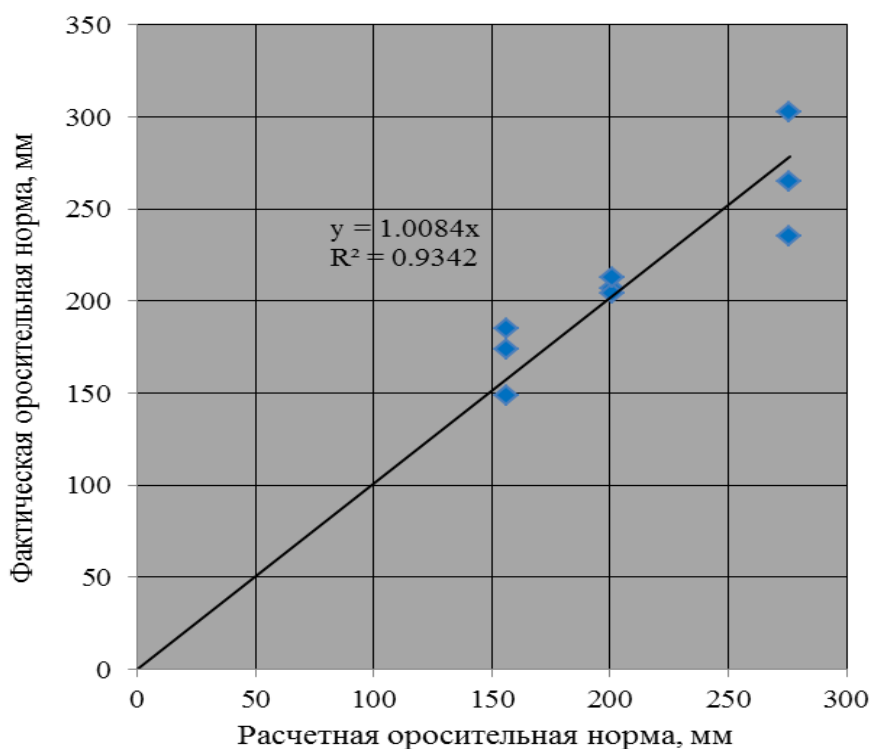


Рисунок 3 – Связь экспериментальных показателей фактических оросительных норм (M_f) моркови столовой (делянка № 1, 2, 3) с расчетными (M_p)

Коэффициент корреляции этой закономерности составляет $0,934 \pm 0,09$, что указывает на плотную связь между M_f и M_p (фактическими и расчетными значениями).

Таблица 4 – Связь фактических оросительных норм за вегетацию моркови столовой с расчетными значениями

Год	№ варианта	Фактическая (опытная) оросительная норма, мм	Средняя влажность почвы, см ³ /см ³	Оросительная норма по расчету, мм
2011	1	443	0.33	425
	2	430	0.31	
	3	375	0.25	
2012	1	298	0.33	273
	2	292	0.28	
	3	232	0.26	
2013	1	150	0.33	155
	2	140	0.31	
	3	125	0.28	

Данные, полученные в результате обработки данных за 42 года (1960...1997, 2010...2013 гг.) позволили построить график обеспеченности оросительных норм моркови столовой для рассматриваемых условий (рисунок 4). Полученные расчетом характеристики находили по математическим формулам распределения ежегодных вероятностей превышения.

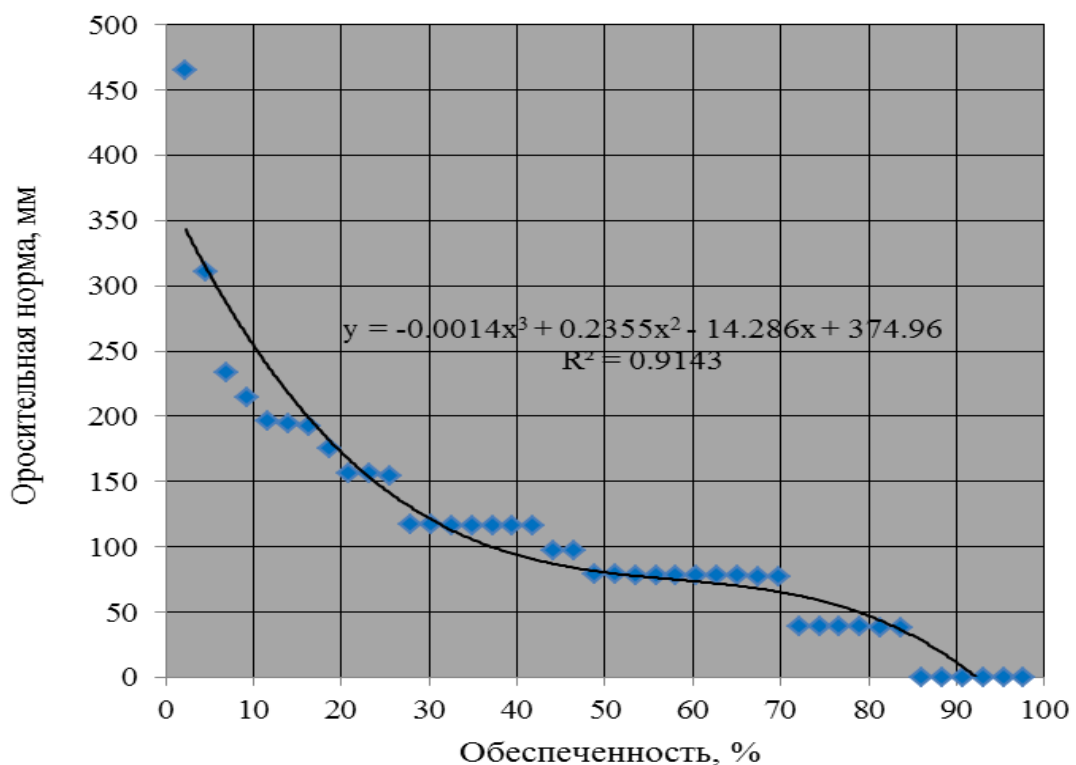


Рисунок 4 – Кривая обеспеченности оросительной нормы моркови столовой

Значения параметров режима полива моркови столовой на дерново-подзолистых почвах водоразделов Московской области для разных по обеспеченности лет приведены в таблице 5.

Результаты опытных данных указывают на то, что оросительные нормы года 50% обеспеченности равны 80 мм, что не выходит за пределы допустимого диапазона, а значит соответствуют почвенно-допустимым. Следовательно, обоснованные режимы полива столовой моркови применимы при проектировании и эксплуатации оросительных систем на дерново-подзолистых почвах водоразделов.

Таблица 5 – Режим орошения столовой на дерново-подзолистых почвах водоразделов Московской области

Обеспеченность (P), %	5	10	25	50	75
Расчетный слой почвы, м	0,2...0,4	0,2...0,4	0,2 – 0,4	0,2 – 0,4	0,2 – 0,4
Поливная норма, мм	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 – 40
Оросительная норма, мм	310	250	140	80	60
Количество поливов	8 – 9	6 – 7	3 – 4	2 – 3	0 – 2
Инфильтрация	0	23	45	66	94

Экономическая эффективность при использовании предлагаемого в диссертационной работе режима орошения в рассматриваемых условиях определялась согласно методическим рекомендациям Министерства сельского хозяйства РФ.

В расчетах было проведено сопоставление экономической результативности двух вариантов мелиоративных инвестиционных проектов оросительных систем: без внедрения результатов научных исследований и с учетом внедрения результатов научных исследований. Внедрение научных разработок повышает экономические показатели мелиоративных инвестиционных проектов. Так, простой срок окупаемости мелиоративных инвестиционных проектов остается неизменным, но срок окупаемости с дисконтом снижается на 4 года, чистый доход повышается на 13,7 %, а чистый дисконтный доход в 13,8 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенных натурно-экспериментальных исследований и полученных значений по диапазону регулирования влажности и глубине расчетного слоя почвы, а также с использованием полученной формулы для расчета суммарного испарения разработан режим орошения столовой моркови для условий водоразделов Центрального района Нечернозёмной зоны России. Оросительные нормы и количество поливов зависят от тепло-влагообеспеченности конкретных лет. При 5 %-ой обеспеченности по дефициту влагообеспеченности она составила 310 мм, а при 75 %-ой 60 мм. Поливная норма зависит от фазы развития моркови столовой и составила 20-40 мм;

2. Влажность дерново-подзолистых почв в расчетном слое необходимо поддерживать в оптимальном диапазоне с учетом требований растений всего периода вегетации. Проведенные натурные исследования позволили уточнить оптимальные параметры регулирования влажности дерново-подзолистых почв водоразделов в течение периода вегетации, при выращивании моркови столовой, которые составили (0,66...0,79) ПВ или (0,72...0,84) НВ;

3. Суммарное испарение при оптимальной влажности дерново-подзолистой почвы обуславливается преимущественно климатическими условиями. Самая плотная связь получается между суммарным испарением и суммой среднесуточных дефицитов влажности воздуха. Получена формула для определения суммарного испарения моркови столовой для условий дерново-подзолистых почв. Коэффициент корреляции данной формулы для моркови столовой составляет $0,959+0,073$, а диапазон её использования по сумме среднесуточных дефицитов влажности воздуха за декадные периоды равен 27...144 мб/дек. Определены биологические коэффициенты столовой моркови за декадные периоды. Номера декад 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, соответственно биологические коэффициенты 0,77; 0,87; 0,93; 0,98; 1,01; 1,02; 1,01; 0,97; 0,91; 0,83. Получены коэффициенты, позволяющие учитывать снижение влажности промачиваемого горизонта почвы ниже оптимального значения, при выращивании моркови столовой. Влажность почвы 70 % ПВ, 60 % ПВ, 50 % ПВ, 40 % ПВ, соответственно коэффициенты,

учитывающие понижение влажности почвы 1,0; 0,90; 0,75; 0,50. Определены коэффициенты, характеризующие природную зону и почвы: $a - 1,06$; $b - 0,86$.

4. Установлена глубина расчетного слоя дерново-подзолистых почв, которая зависит от сорта столовой моркови и обусловлена динамикой роста и развития корневой системы в период вегетации столовой моркови. Для условий орошаемых дерново-подзолистых почв водоразделов Центрального района Нечернозёмной зоны России при поливах столовой моркови расчетный слой почвы необходимо принимать в следующих пределах: 1...4 декады от начала вегетации – 0,2 м; 5...6 декады – 0,3 м; 7...10 декады – 0,4...0,5 м.

5. На основании проведенного анализа наилучшим методом расчета режима орошения столовой моркови в рассматриваемых условиях была принята математическая модель Голованова А.И. Усовершенствование модели было выполнено на основании материалов экспериментальных исследований (2011...2013 гг.) по следующим позициям:

- уточнены оптимальные пределы регулирования влажности дерново-подзолистых почв в течение периода вегетации при выращивании моркови столовой в рассматриваемых условиях (0,66...0,79) ПВ или (0,72...0,84) НВ;

- использована полученная нами эмпирическая зависимость для расчета суммарного испарения и полученные биологические коэффициенты, и коэффициенты, учитывающие снижение влажности почвы ниже оптимального значения и коэффициенты, учитывающие природно-климатическую зону и почвы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для повышения качества проектирования гидромелиоративных систем на водоразделах Центрального района Нечернозёмной зоны России рекомендуется применять разработанный проектный режим орошения, тем самым повысить точность определения объема воды для орошения моркови столовой, увеличить урожайность исследуемой культуры.

При выращивании столовой моркови в рассматриваемых условиях рекомендуется поддерживать влажность дерново-подзолистых почв в расчетном

слое в оптимальном диапазоне (0,66...0,79) ПВ или (0,72...0,84) НВ. Суммарное испарение при оптимальной влажности дерново-подзолистой почвы рекомендовано рассчитывать по полученной формуле, для которой определены биологические коэффициенты, коэффициенты, позволяющие учитывать снижение влажности промачиваемого горизонта почвы ниже оптимального значения и коэффициенты, характеризующие природную зону и почвы при выращивании моркови столовой.

Глубину расчетного слоя орошаемых дерново-подзолистых почв в рассматриваемых условиях следует принимать в следующих пределах: 1...4 декады от начала вегетации – 0,2 м; 5...6 декады – 0,3 м; 7...10 декады – 0,4...0,5 м.

***Основные положения диссертации опубликованы в изданиях,
рекомендуемых ВАК***

1. Владимиров, С. О. Обоснование режима влажности дерново-подзолистой почвы при выращивании столовой моркови / С. О. Владимиров // Мелиорация и водное хозяйство. – 2012. – № 6. – С. 19-20. – EDN PTVDDN.
2. Пчелкин, В. В. Водопотребление моркови на дерново-подзолистых почвах водоразделов Московской области / В. В. Пчелкин, С. О. Владимиров // Природообустройство. – 2014. – № 3. – С. 29-31. – EDN STHXBB.
3. Пчелкин, В. В. Связь испарения с водной поверхности с водопотреблением моркови в условиях Московской области / В. В. Пчелкин, С. О. Владимиров // . – 2014. – № 3. – С. 23-25. – EDN SIFWJH.
4. Пчелкин, В. В. Режим орошения моркови на дерново-подзолистых почвах водораздельных территорий Московской области / В. В. Пчелкин, С. О. Владимиров // Природообустройство. – 2015. – № 5. – С. 78-82. – EDN VDZYDN.
5. Пчелкин, В. В. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв на их плодородие при выращивании моркови столовой / В. В. Пчелкин, С. О. Владимиров, О. М. Кузина // Природообустройство. – 2018. – № 5. – С. 92-97. – DOI 10.26897/1997-6011/2018-5-92-97. – EDN YRRVDN
6. Закономерности изменения элементов водного баланса зоны аэрации при поливе столовой моркови / В. В. Пчелкин, С. О. Владимиров, О. М. Кузина, Б. Хербейк // Природообустройство. – 2021. – № 5. – С. 21-30. – DOI 10.26897/1997-6011-2021-5-21-30. – EDN MZQHOI.
7. Водопотребление овощных культур в нечерноземной зоне России / В. В. Пчелкин, С. О. Владимиров, Д. И. Зяблицев, Абдель Таваб // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 22-30. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-4-22-30. – EDN SZWNRM.

В других изданиях

1. Владимиров, С. О. Обоснование режима влажности дерново-подзолистой почвы при выращивании столовой моркови / С. О. Владимиров // "Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации" Материалы V-ой Международной (9-ой Всероссийской) научной конференции молодых ученых и специалистов. Коломна: ФГНУ ВНИИ "Радуга. – 2012. – С. 49-50.

2. Владимиров, С. О. Взаимосвязь между элементами водного баланса расчетного слоя дерново-подзолистой почвы при выращивании столовой моркови / В. В. Пчелкин, С. О. Владимиров // "Инновационные технологии и экологическая безопасность в мелиорации" Материалы VI-ой Международной (10-ой Всероссийской) научной конференции молодых ученых и специалистов. Коломна: ФГНУ ВНИИ "Радуга. – 2015. – С. 88-91.