

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**Кафедра: Мелиорация земель и комплексное  
использование водных ресурсов**

На правах рукописи

ЧЕЧКО РАИСА АЛЕКСАНДРОВНА

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИЕМОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ  
ПРИ СПРИНКЛЕРНОМ ОРОШЕНИИ**

**06.01.01 – Общее земледелие, растениеводство**

**06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

**Научный руководитель –**  
академик Российской академии  
наук, доктор сельскохозяйственных  
наук, профессор

Н.Н. Дубенок

Волгоград - 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>1. Биология и особенности возделывания картофеля при разных способах орошения</b> .....	8
1.1 Морфофизиологические особенности и биология картофеля ....	8
1.2 Перспективные способы орошения картофеля в условиях засухи	18
1.2.1 Водный режим почвы и опыт орошения картофеля в условиях засухи .....	18
1.2.2 Перспективные способы полива и техника орошения .....	23
1.3 Особенности возделывания картофеля при орошении. Обоснование направления исследований .....	28
<b>2. Программа и методы исследований</b> .....	37
2.1 Программа и методики исследований .....	37
2.2 Место и условия проведения экспериментальных исследований	46
2.2.1 Место проведения экспериментальных исследований и характеристика почвенного покрова опытного участка .....	46
2.2.2 Краткая характеристика климата региона с оценкой агрометеорологических условий в годы проведения исследований .....	49
2.3 Агротехника картофеля в опытных посадках .....	55
<b>3. Особенности формирования водного режима почвы при спринклерном орошении картофеля</b> .....	60
3.1 Фактический поливной режим раннего картофеля с использованием систем спринклерного орошения .....	60
3.2 Особенности формирования водного режима почвы при разных способах контроля предполивной влажности .....	66
3.3 Суммарное водопотребление раннего картофеля в зависимости от способа посадки и положения зоны контроля предполивной влажности .....	78

3.4	Параметры биоклиматической модели контроля влажности почвы для раннего картофеля при спринклерном орошении .....	93
<b>4.</b>	<b>Закономерности продукционного процесса картофеля при спринклерном орошении .....</b>	<b>101</b>
4.1	Закономерности развития картофеля при разных способах посадки в условиях спринклерного орошения .....	101
4.2	Фотосинтетическая активность картофеля при спринклерном орошении .....	107
4.3	Динамика накопления и особенности распределения биомассы картофеля в зависимости от способа посадки и положения зоны контроля предполивной влажности почвы .....	125
4.4	Структура урожая раннего картофеля при спринклерном орошении .....	136
<b>5.</b>	<b>Эффективность возделывания картофеля при спринклерном орошении .....</b>	<b>143</b>
5.1	Потенциал продуктивности раннего картофеля и эффективность его реализации при спринклерном орошении .....	143
5.2	Эффективность использования воды на формирование урожая ..	149
5.3	Экономическая эффективность выращивания раннего картофеля при спринклерном орошении .....	155
	<b>Заключение.....</b>	<b>163</b>
	<b>Список литературы .....</b>	<b>167</b>
	<b>Приложения .....</b>	<b>183</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследований.** Производство картофеля является одним из приоритетных направлений развития агробизнеса в России, в том числе, в регионе Нижней Волги. Дефицит естественной влагообеспеченности территории Нижнего Поволжья определяет безусловную необходимость орошения посадок картофеля в течение всего вегетационного периода. Высокая ресурсоемкость оросительных мелиораций определяет особые требования к эффективности возделывания картофеля, делая нерентабельными проекты с урожайностью ниже 25 т/га.

Исторически картофель в регионе поливали разными способами. До недавнего времени одним из наиболее распространенных способов орошения картофеля в регионе являлось дождевание с использованием широкозахватных или консольных дождевальными машин. В последнее время широкое распространение получило капельное орошение картофеля. Каждый из способов полива имеет свои преимущества, как по отношению к биологии культуры, так и в связи с особенностями приемов ее возделывания. Главным преимуществом орошения дождевальными машинами в отношении биологии картофеля является возможность совокупного регулирования водного режима почвы и влажности воздуха. Капельное орошение позволяет управлять только водным режимом почвы, но менее инертно, чем орошение дождевальными машинами; есть возможность гибкого регулирования поливной нормы, сроков полива.

Перспективной технологией орошения картофеля, внедряемой в передовых фермерских хозяйствах региона, является спринклерное орошение, которое сочетает в себе возможность, с одной стороны, совокупного управления водным режимом почвы и влажностью воздуха, а с другой, - возможность гибкого регулирования поливной нормы и сроков полива. Для региона это новая технология полива, поэтому приемы возделывания картофеля при спринклерном орошении до сих пор не нашли научного обоснования.

**Степень разработанности темы исследований.** Вопросам технологии возделывания картофеля на орошаемых землях посвящены исследования И.П. Кружилина, А.А. Навитней, О.Г. Гиченковой (2003), Н.Н. Дубенка (2015), В.В. Мелихова, А.А. Новикова (2011), В.В. Бородычева (2014), В.Б. Нарушева, Е.А. Наруше-

вой, Л.Ю. Лаврик (2008), А.М. Гаврилова, В.М. Жидкова (2010), Е.Д. Гарьяновой (2013), В.В. Ивенина, А.В. Ивенина (2013), А.В. Комиссарова, М.Г. Ишбулатова (2012), В.В. Коринца, В.А. Шляхова (2011), В.И.Ольгаренко (2015), А.Ф. Туманян, Н.А. Щербаковой, Н.В. Тютюмы (2012). Анализ опубликованного материала показал, что основным способом посадки картофеля при орошении дождевальными машинами была посадка в гребень через 0,7 м. Основным способом посадки картофеля при капельном орошении стала посадка в сдвоенный рядок, что позволяет существенно экономить на комплектующих системы. При спринклерном орошении нет экономии комплектующих системы при посадке в сдвоенный рядок, однако есть такая же возможность гибкого регулирования поливных норм и сроков полива, как при капельном орошении. Вопрос о том, какой способ посадки в этих условиях окажется более выгодным, остается открытым. Кроме того, не исследованным остается вопрос о расстоянии между соседними лентами растений и зоне контроля предполивной влажности почвы при использовании датчиков точечного типа.

**Цель исследований** – повышение эффективности возделывания картофеля при спринклерном орошении за счет научного обоснования оптимального способа посадки и зоны контроля предполивной влажности почвы, обеспечивающих возможность получения свыше 50 т/га товарных клубней.

Задачи исследований:

- систематизировать и провести анализ литературных источников по проблематике исследований с обоснованием перспективных приемов повышения эффективности возделывания картофеля и целесообразности применения спринклерного орошения;
- исследовать динамику водопотребления и водного режима почвы с группировкой данных и выявлением закономерностей по вариантам изучаемых приемов возделывания картофеля;
- провести анализ особенностей формирования водного режима почвы в зависимости от зоны контроля предполивной влажности почвы;
- изучить фотосинтетическую активность картофеля при разных способах посадки и в зависимости от зоны контроля предполивной влажности почвы;
- установить закономерности формирования структуры и качества урожая

клубней картофеля при спринклерном орошении;

– дать оценку экономической эффективности и инвестиционной привлекательности возделывания картофеля при спринклерном орошении.

**Научная новизна.** Впервые в регионе исследований проведено научное обоснование элементов технологии возделывания картофеля при спринклерном орошении. Установлены закономерности водопотребления и формирования водного режима почвы в зависимости от зоны контроля предполивной влажности при спринклерном орошении. Определены приемы, обеспечивающие гарантированное получение свыше 50 т/га товарных клубней картофеля.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Установлены закономерности формирования водного режима почвы в зависимости от размещения зоны контроля предполивной влажности почвы; фотосинтетической активности посевов, формирования структуры и качества урожая клубней картофеля при разных способах посадки на фоне спринклерного орошения.

Практическая значимость работы заключается в обосновании совокупности оптимальных приемов возделывания картофеля при спринклерном орошении, обеспечивающих формирование свыше 50 т/га товарных клубней картофеля с минимальными затратами воды на формирование урожая.

**Объект и предмет исследований.** Объектом исследований являлись посадки картофеля в зоне светло-каштановых почв Нижнего Поволжья при орошении стационарными дождевальными системами спринклерного типа. Предмет исследований - элементы технологии возделывания и орошения картофеля при использовании для полива стационарных дождевальных систем.

**Методология и методы исследований.** Методология исследований основана на проведении многолетнего полевого эксперимента по общепринятым методикам (Плешаков В.Н., 1983, Моисейченко В.Ф., 1996, Роде, А.А., 1960, Ковальчук В.П., 2010 и др.). Агрохимические анализы выполнены по соответствующим ГОСТам, дисперсионный и корреляционный анализы – по Б.А. Доспехову (1985).

**Положения, выносимые на защиту:**

– особенности формирования водного режима почвы при спринклерном орошении картофеля;

– закономерности продукционного процесса картофеля при разных способах посадки на фоне спринклерного орошения;

– научно-обоснованные параметры посадки картофеля и зона контроля предполивной влажности почвы при спринклерном орошении.

**Степень достоверности исследований** подтверждается использованием актуальных методик, достаточным объемом опытных данных, полученных с соблюдением необходимого числа повторений, которые согласуются с общими представлениями в данной отрасли сельскохозяйственной науки, использованием методов статистического анализа и обработки опытных данных. Рекомендации производству прошли проверку в КФХ «Выборнов В.Д.» Ленинского района Волгоградской области на площади 8 га. Результаты испытаний подтвердили эффективность использования спринклерного орошения в сочетании с применением рекомендуемого способа посадки и организацией контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений, с возможностью получения свыше 50 т/га товарных клубней при рентабельности производства 112,4 %.

**Апробация результатов исследований.** Основные положения диссертационной работы докладывались на международных научно-практических конференциях "Научно-практические аспекты инновационных технологий возделывания и переработки картофеля" (Рязань, 2015), «Использование мелиорированных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия» (Тверь, 2015), «Проблема управления водными и земельными ресурсами» (Москва, 2015»), «Инновационное развитие аграрной науки и образования» (Махачкала, 2015).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 5 научных работ, из которых 3 - опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем работы.** Структура диссертации включает введение, 5 глав, заключение, список использованной литературы и приложения. Общий объем работы составляет 209 страниц, в том числе основного текста – 119 страниц. Работа содержит 28 таблиц, 25 рисунков, 27 приложений. Список использованной литературы включает 151 источник.

# 1. БИОЛОГИЯ И ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОРОШЕНИЯ (состояние изученности вопроса)

## 1.1 Морфофизиологические особенности и биология картофеля

Картофель, по своей ботанической принадлежности, является многолетним травянистым растением, однако в культуре его возделывают как однолетнее [138]. Относится картофель к семейству пасленовые (*Solanaceae*), роду *Solanum*. Указанный род включает в себя много видов, среди которых в культуре самое большее распространение получил вид *S. tuberosum* L [7].

В настоящее время накоплен большой научный опыт в области исследования морфофизиологических особенностей картофеля и, связанных с этим, закономерностей роста и развития картофельных растений [7, 19, 27, 43, 54, 66, 117, 123]. Клубень картофеля является целью производственной деятельности и, собственно, - важнейшей структурной единицей растения, дающей начало побегам и представляющей собой утолщенную часть столона [43]. Из-за усиленного роста в толщину при слабом удлинении этой части столона клубень приобретает форму, близкую к круглой или овальной. Особенностью развития клубня является то, что его рост происходит более интенсивно на базальной части и существенно медленнее – в его вершинной части. Из-за этого побеговые почки клубня размещаются по спиралевидной форме: в вершинной части их существенно больше, чем в базальной. Форма клубня является чрезвычайно изменчивым признаком и характеризует, преимущественно, сорт картофеля [7, 117].

Вся наружная часть клубня покрыта пробковой тканью, толщина которой является, преимущественно, генетическим признаком [7]. По сортам картофеля величина этого признака изменяется практически в 10 раз, от 50 мкм до 0,5 мм. Вместе с формированием клеток из слоя перидермы начинают формироваться и будущие отверстия в пробковой ткани, - чечевички. Их основная функция – обеспечение притока кислорода в глубинные ткани. Количество чечевичек зависит от



размера клубня и совокупности внешних факторов, включая тип почвы, метеорологические условия, агротехнические факторы. В среднем число таких отверстий в пробковой ткани, покрывающей клубень, изменяется от 70 до 150 шт. на один клубень.

Излишки ассимилянтов картофеля осуществляется в виде крахмальных зерен в паренхимных клетках клубня [54]. Совокупность клеток этой зоны образуют запасную ткань картофеля, которая и занимает большую часть клубня. У ранних сортов, клетки запасной ткани, как правило, менее крупные, чем у поздних сортов.

Структурная организация корневой системы картофеля включает следующие, основные типы корней [54, 116, 138]:

- главный корень, который развивается только в том случае, если картофель выращивается из семян;
- боковые корни;
- придаточные корни.

При выращивании картофеля из клубней придаточные корни формируются в нижней части растущих стеблей. Активизация роста придаточных корней происходит уже при формировании стебля размером не более 3-5 мм. Если клубни проращивают на свету, то уже на ранней стадии формирования корни вступают в фазу ветвления. Это обеспечивает при посадке клубней в почву образование мощной корневой системы. Кроме того в узлах роста столонов формируются, так называемые, «столонные» корни, с диаметром 0,3-1,0 мм. При благоприятном водном режиме почвы количество столонных корней может существенно возрасти.

По данным большинства ученых [43, 54, 117, 123] до 60-80 % корней картофеля располагаются в пахотном слое. Некоторые исследователи [65, 138] отмечают положительную корреляцию между массой корней и глубиной их проникновения в почву, а также мощностью формируемой надземной части растения. При этом отмечается, что раннеспелые сорта имеют менее мощную корневую систему со слабым проникновением корней в подпахотные горизонты в сравнении с позднеспелыми сортами.

В литературе [138] приводятся сведения, что максимальной глубины корни картофеля достигают уже до начала фазы цветения, причем в условиях орошения этот уровень не превышает 0,55 м. До 98 % корней картофеля находилось в слое 0-0,45 м. Отмечается, что в сравнении с другими культурами корневая система картофеля существенно менее развита [43].

Надземная часть растений картофеля представлена стеблями, листьями и плодами. Стебель у картофеля травянистый, в узлах – четырехгранный, а в промежутках между узлами имеет трехгранную форму [7].

В перпендикулярной оси стебля плоскости от центра к периферии располагаются различные слои растительной ткани [7, 54, 123]:

- комплекс тканей, образующих центральный осевой цилиндр;
- слой эндосперма, состоящий из клеток, содержащих много крахмальных зерен;
- слой первичной коры с клетками хлорофиллоносной паренхимы, колленхимы и бесцветной паренхимы;
- слой эпидермиса, клетки которого впоследствии заменяются перидермой.

Среднестатистическое число стеблей, образованных клубнем, для большинства сортов не превышает 3-5, однако уже в надземной части они могут сильно ветвиться. Исследователями [43, 116, 123] отмечается, что тип стебля, склонность к ветвлению, высота стебля и ряд других признаков зависят как от сортовых особенностей картофеля, так и от внешних условий произрастания.

Столону картофеля развиваются из базальных почек клубня картофеля и являются, по сути, латеральными побегами. Структура столона включает наружную, а также внутреннюю флоэму и сосудисто-волокнистые пучки, преимущественно, одного типа. Такая структура столона в наибольшей степени приспособлена к транспорту ассимилянтов и воды с растворенными в ней веществами. Длина столонов у большинства современных сортов изменяется в пределах от 5 до 10 см; от длины столонов зависит размер клубневого гнезда картофеля. В целом, строение столона такое же, как и у стебля, он также имеет узлы и междоузлия [7, 54].

Листья у картофеля располагаются по спирали на каждом стебле [43]. Первые листья, как правило, имеют простую форму; более поздние – непарноперистые. Листья на стебле могут располагаться в верхушечной части (листовой тип) и, относительно равномерно, по всему стеблю (стеблевой тип), есть переходные формы.

Картофельные листья имеют мезофилльную структуру, который представлен палисадной и губчатой паренхимой [43, 54, 116]. Клетки палисадной паренхимы могут занимать до половины толщины листовой пластинки, но чаще – не более одной трети. Палисадная ткань более активна с физиологической точки зрения, - число хлоропластов в каждой палисадной клетке в 2 и более раза больше, чем в клетках губчатой паренхимы. Метаболизм углерода в тканях палисадной и губчатой паренхимы качественно не различается, однако в первой больше синтезируется крахмала, тогда как во второй – сахарозы. Структура и строение губчатой паренхимы более ориентирована на транспорт ассимилянтов из листа.

В структуру картофельного листа включено большое количество жилок разного размера, которые обеспечивают снабжение тканей мезофилла водой с растворенными в ней минеральными элементами и отток продуктов фотосинтеза из листа [54]. Строение жилок картофельного листа существенно зависит от агротехнических факторов; в частности, при неблагоприятном водном режиме число и размер жилок листа сокращаются.

Картофельные цветки собраны в соцветия, которые размещаются на общем цветоложе [7]. Строение семени картофеля включает стандартные – зародыш, эндосперм и оболочку. Эндосперм содержит жиры и белки и располагается вокруг зародыша. Плодом картофеля является двугнездная ягода, как правило, - шаровидной формы. Из клеток плацентарной ткани формируется мякоть плода, в которой и размещаются семена. Однако картофель довольно редко выращивают из ботанических семян, преимущественно этот метод используется в селекционно-генетических целях.

Зрелые клубни картофеля после уборки некоторое время пребывают в состоянии покоя, продолжительность которого зависит от содержания в кожуре ингиби-

торов роста [7, 138]. В процессе хранения клубней количество ингибиторов роста снижается и, при достижении определенного уровня картофель может давать проростки. В течение периода перехода клубней от состояния покоя к формированию проростков они физиологически стареют. Физиологический возраст клубня картофеля зависит как от продолжительности периода хранения, так и от суммы активных среднесуточных температур воздуха. В зависимости от целей использования посадочного материала целесообразно использовать клубни разного физиологического возраста. Например, для получения наибольшего урожая позднеспелых сортов картофеля целесообразно использовать молодой посадочный материал, а при выращивании раннего картофеля – более зрелый с физиологической точки зрения [43].

Одним из важнейших ростовых процессов картофеля является процесс клубнеобразования. Клубнеобразование у картофеля начинается на определенном этапе органогенеза при оптимальных условиях для роста и развития [43, 138]. При переходе к объемному росту линейный рост столона прекращается и начинается формирование клубня. Практически все современные сорта картофеля относительно нейтральны по отношению к длине светового дня, что определяет прохождение процесса клубнеобразования без проявления фотопериодической реакции.

Картофель относится к совокупности сельскохозяйственных культур, которые предъявляют высокие требования к условиям поступления солнечной радиации [54]. При дефиците освещенности растения картофеля реагируют морфофизиологическими изменениями, стебли растений вытягиваются, а накопление биомассы замедляется. При затенении листового аппарата у картофеля снижается способность к ассимиляции углекислого газа. С другой стороны, при формировании разреженных посадок, не полностью используются ресурсы солнечной радиации, в результате чего КПД ФАР снижается. В связи с этим большинство ученых [19, 43, 116, 117] отмечают необходимость формировать структуру картофельного агроценоза с учетом сорта, качества посадочного материала, обеспеченности минеральным питанием и режима влагообеспечения.

В работах [43] отмечается, что критерием оптимальности размещения картофельных растений в посевах может стать площадь листового аппарата, которая в расчете на площадь в 1 га должна находиться в пределах от 40 до 50 тыс. м<sup>2</sup>.

В литературе [54] встречается информация о связи освещения растений картофеля и их требовательности к теплообеспеченности. При интенсивном освещении в течение дня растения картофеля могут активно развиваться и при пониженных температурах. При слабом освещении более активно развиваются картофельные растения в условиях повышенной температуры воздуха.

Картофель относится к культурам с относительно узким диапазоном оптимальных температур воздуха, необходимых для нормального роста и развития. Он одинаково плохо переносит как заморозки, так и повышенные температуры, вплоть до гибели растения [7, 19, 138].

Начало активного формирования листового аппарата картофеля возможно уже при температуре воздуха +11-+13 °С, однако для активного прироста зеленой биомассы наиболее благоприятен температурный режим от 18 до 25 °С. Сохранение таких условий обеспечивает наиболее активное усвоение углекислоты и синтез углеводов в растениях. На повышение температуры сверх физиологического оптимума растения картофеля реагируют морфофизиологическими изменениями: листовые пластинки сужаются, светлеют, боковые побеги и главные стебли удлиняются, существенно сокращается период активной вегетации. Критическим максимумом температур воздуха для картофеля считают 40-41 °С, при которых синтез и накопление органического вещества в растениях практически прекращается [19, 43].

По данным [19] общая потребность в тепле для получения массовых всходов картофеля неодинакова для сортов разных групп спелости: для ранних сортов достаточно 300 °С, для поздних – 360-380 °С. Вместе с тем следует учитывать существенную вариативность этого показателя в зависимости от условий выращивания, качества посадочного материала и применяемых технологий.

В фазу бутонизации картофеля, с которой, как правило, совпадает начало периода активного образования клубней, оптимальная температура почвы находит-

ся в пределах 17-19 °С [43]. При повышении температуры почвы до 25 °С рост клубней существенно замедляется, а при температуре 29-30 °С – практически прекращается. Снизить температуру почвы в жарких регионах России позволяет проведение частых вегетационных поливов. Кроме того, для нормального развития картофеля в пахотном слое почвы необходимо содержание достаточного количества доступной растениям влаги.

Требования картофеля к влажности почвы относительно других культур достаточно высокие. Связаны они, в первую очередь, с биохимическим составом и общей массой картофельных растений. Содержание воды в клубнях картофеля достигает 70-80 %, в надземной части растения – свыше 80 % [37]. При таких высоких требованиях к оводненности растений пассивный ток воды у картофеля определяется сильно развитой листовой поверхностью и для сохранения его необходимо активное усвоение почвенной влаги. Следует также учитывать, что корневая система картофеля развита слабо, ее относительная масса к массе надземной части растений не превышает 8 % [123].

В то же время есть многочисленные свидетельства [19, 52, 54, 65, 105, 123, 138], подтверждающие четко выраженные колебания требовательности картофеля к водообеспечению в течение вегетационного периода. До фазы бутонизации засухоустойчивость картофельных растений относительно высока, но с началом периода формирования бутонов и цветения потребность картофеля в воде скачкообразно возрастает. Объяснить это можно действием ряда морфофизиологических особенностей картофеля [7, 43, 54]:

- формированием на листьях специфических железистых волосков, которые способны экстратировать влагу из воздуха;
- запасами влаги в материнском клубне, которые на начальных этапах развития полностью доступны растениям;
- относительно невысокими темпами роста надземной части растений в первые фазы развития.

Все это на начальных этапах развития позволяет картофельным растениям эффективно адаптироваться к засухе. С ростом и развитием растений большинство факторов засухоустойчивости картофеля инвертируется [54]:

- скачкообразно активизируется рост надземной массы и листьев картофеля;
- материнский клубень полностью отмирает, а использование запасов влаги из растущих молодых клубней самым негативным образом сказывается на развитии растений и формировании урожая.

Еще одно снижение водопотребления картофеля исследователями [19, 138] отмечается уже в конце вегетационного периода, и связано оно с прекращением роста и развития клубней и началом естественного отмирания надземной части растений.

Зависит водопотребление картофеля и от метеорологических условий. По данным [123] в отдельные жаркие дни куст картофеля расходует до 4 л воды и лишь 0,5 % от этого объема идет на построение органических тканей. В литературе [43, 65, 116, 117, 138] приводятся результаты наблюдений, свидетельствующих о связи водопотребления картофеля с его сортовыми особенностями, способом и густотой посадки, системой ухода и т.д. Отмечается [123] существенный вклад в общий расход воды процесса испарения воды с поверхности почвы.

В тоже время имеются сведения [43, 138] и о вреде переувлажнения почвы под картофелем. Отмечается, что легкая доступность почвенной влаги в период формирования клубней ингибирует процесс клубнеобразования: несмотря на активный рост надземной части растения число клубней в кусте сокращается. Избыток почвенной влаги перед уборкой снижает содержание сухого вещества в клубнях, их крахмалистость, увеличивает долю отхода в процессе хранения. Переизбыток влаги в основные фазы роста и развития картофеля провоцирует удушье клубней, их загнивание, распространение картофельных болезней.

Особые требования картофель предъявляет и к воздушному режиму почвы [7, 19]. Маточные клубни картофеля при прорастании во много раз больше, чем семена других культур, потребляют кислорода из почвенного воздуха. Дефицит

кислорода для прорастающего клубня может оказаться губительным, вплоть до полной гибели проростков и маточного клубня.

Однако наибольшую потребность в кислороде у картофеля испытывают растущие клубни [116]. Столоны и клубни картофеля построены из относительно крупных клеток, из-за чего для нормального роста им требуются значительные почвенные пустоты с воздухом. Чтобы клубни картофеля нормально формировались и развивались содержание кислорода в почвенном воздухе должно быть не менее 20 %.

Наряду с аэрацией пахотного слоя почвы, большую роль в жизни и развитии картофельных растений играет концентрация углекислоты в приземном слое воздуха. Важность углеродного питания не вызывает сомнений, поскольку этот элемент является основой органической ткани. По данным [43] картофельные посадки с урожайностью 25 т/га за вегетационный период потребляют до 20 т углекислоты. Снижение хозяйственной продуктивности картофельных растений с хорошо развитой надземной частью часто происходит именно из-за дефицита углекислого газа в среде посева. Отмечается, что при мощно развитой ботве концентрация углекислого газа в среде растений к полудню может снижаться до 2-х раз. Это определяет особые требования к способам и густоте посадки картофеля, позволяющим увеличить вентиляруемость посевов, а также приемам возделывания, позволяющим увеличить выработку углекислоты непосредственно в среде растений. Например, 40 т навоза в процессе разложения могут дать до 9 т углекислоты, что наполовину перекрывает потребность картофеля в углекислом газе [138]. Кроме того, внесение навоза позволяет повысить обеспеченность картофеля элементами минерального питания, улучшить водные и физические свойства почвы.

Сведения о требованиях, предъявляемых картофелем к почвенным условиям, неоднозначны. С одной стороны, многие исследования [117, 123, 138] подтверждают, что картофель можно выращивать совершенно на разных типах почв. В тоже время указывается, что «почву необходимо постоянно содержать в рыхлом состоянии, чтобы она не оказывала значительного механического сопротивления росту...» [43]. Высокая агротехника картофеля позволяет его выращивать на су-



глинистых почвах, которые предпочтительны для формирования наибольших урожаев. Но есть сведения [138], что хорошие урожаи картофеля можно получить и на песчаных почвах, - при близком залегании пресных грунтовых вод или при проведении частых поливов. Почвенную реакцию для картофеля считают благоприятной при рН от 4,5 до 7,5.

Таким образом, картофель успешно можно выращивать и на кислых почвах, и на нейтральных, и даже на слабощелочных. Однако к доступности элементов минерального питания картофель предъявляет высокие требования.

Картофель потребляет до 26 разных химических элементов, однако больше всего он выносит азота, калия, фосфора, кальция, магния и серы [43]. По данным [19] в расчете на формирование 10 т клубней картофелем потребляется до 50 кг азота, 20 кг фосфорных соединений, около 100 кг калия, 38 кг кальция, 16 кг магния и 5 кг – серы.

Почвенный азот картофель начинает потреблять уже с момента появления всходов [54]. В растении азот используется для синтеза белков, однако его значение для картофеля этим не ограничивается. При дефиците азота в листьях и других органах картофеля накапливается избыток углеводов, их отток замедляется, ингибируя рост и развитие растений. При избытке азота надземная часть картофеля характеризуется мощным ростом, но крахмалистость клубней и урожай при этом снижается. Происходит это из-за того, что часть углеводов, идущая на построение надземной части растения при избытке азота увеличивается, а отток углеводов в клубень сокращается.

Сбалансированность минерального питания картофеля по фосфору важна для нормализации развития растений [117]. Фосфор в картофельном растении встречается только в окисленной форме, а фосфорное питание позволяет увеличить ветвистость растений, нормализовать пигментацию и физиологию фотосинтеза в листе.

Калийное питание картофеля необходимо для нормализации водного режима растений, вязкости и проницаемости протоплазмы, калий участвует в белковом и углеводном обмене, влияет на фотосинтез [138]. В золе картофельного растения

содержание калия достигает 60 %, что свидетельствует о его исключительной роли в формировании урожая.

Доступность элементов минерального питания зависит от их концентрации в почве, форм химических соединений и содержания почвенной влаги [29, 75].

Таким образом, возделывание картофеля в засушливых условиях Нижнего Поволжья возможно только при орошении. При этом, с целью повышения эффективности использования фотосинтетическим активной радиации, необходимо структуру посева оптимизировать в тесной взаимосвязи с комплексом факторов, среди которых важнейшее значение имеют сорта, качество посадочного материала, плодородие почвы, режим и условия водообеспечения.

## **1.2. Перспективные способы орошения картофеля в условиях засухи**

### **1.2.1 Водный режим почвы и опыт орошения картофеля в условиях засухи**

Оптимальное регулирование водного режима почвы под картофелем в большинстве регионов России связано с необходимостью проведения оросительных мелиораций [3, 13, 34, 51, 57, 63, 73, 88, 107, 112, 139].

Даже в условиях умеренного климата центрального Нечерноземья на основании анализа метеорологических условий крайне засушливых 2010 и 1972 гг. сделан вывод о не возможности получения гарантированно высоких урожаев картофеля без орошения [51, 52]. Урожайность товарных клубней картофеля при дефиците естественного влагообеспечения (влажность почвы в пределах 35-45 % НВ) не превышала 19,1-24,8 т/га, тогда как в вариантах, где путем проведения вегетационных поливов влажность почвы поддерживалась не ниже 80 % НВ, урожайность картофеля достигала 41,7-53,0 т/га. Отмечено, что при снижении влажности почвы до 35-45 % НВ прирост урожая обеспечивается лишь при внесении умеренных доз удобрений ( $N_{76}P_{76}K_{115}$ ). При поддержании предполивного уровня влажности почвы не ниже 80 % НВ урожайность картофеля возрастала вплоть до

внесения минеральных удобрений дозой  $N_{126}P_{126}K_{189}$ , причем прирост урожая товарных клубней достигал 27,1 %.

Зарубежными исследователями [123], основываясь на опыте возделывания картофеля в условиях умеренного климата, был также сделан однозначный вывод о перспективности орошения картофельных посадок и сформулированы основные условия эффективности орошения:

- не проводить поливы до начала формирования цветочных почек;
- практиковать интенсивное орошение с начала фазы формирования цветочных почек, включая фазу цветения;
- после цветения орошение продолжать, но объемы водоподачи существенно снижать.

Безусловно, в условиях неустойчивого и недостаточного увлажнения, характерного для региона Нижней Волги, эти рекомендации не в полной мере приемлемы. Острый дефицит естественной влагообеспеченности территории делает невозможным здесь эффективное возделывание картофеля без проведения ситуационных поливов в начальные периоды роста и развития. Следует признать, что рекомендации зарубежных коллег имеют и определенное физиологическое обоснование. В частности, по данным [54], осадки в первой половине вегетации усиливают рост ботвы, в период бутонизации, - увеличивают число клубней в кусте, во второй половине вегетации – положительно сказываются на росте клубней, определяя общую продуктивность и выход товарных клубней.

Большое практическое значение также имеет и наличие динамической связи между условиями водообеспечения и температурным оптимумом клубнеобразования. В литературе [54] отмечается, что с увеличением содержания продуктивной влаги в почве, температурный оптимум клубнеобразования существенно повышается. Это особенно важно учитывать при возделывании картофеля в условиях жаркого климата юга России.

Результаты исследований [19], проведенных в условиях сухостепной зоны Украины, позволили рекомендовать авторам проводить вегетационные поливы картофеля с момента появления всходов и заканчивать поливной сезон за 1-2 не-

дели до уборки. Указывается на необходимость снижения температуры почвы в период клубнеобразования и поддержания ее на уровне 18-22<sup>0</sup>С, что возможно за счет проведения частых поливов малыми поливными нормами.

В опытах М.Р. Мусаева и А.А. Магомедова [79], проведенных с картофелем в условиях равнинной зоны Дагестана, поливы также проводили в течение всего вегетационного периода. К исследованию были поставлены 2 варианта с постоянным в течение вегетационного периода порогом предполивной влажности почвы, - 75-80% НВ и 80-85 % НВ, и 1 вариант с дифференцированным режимом орошения, - 70-85-70 % НВ. Исследования выявили бесспорное преимущество дифференцированного режима орошения картофеля: урожайность товарных клубней, полученных на этом варианте, достигала 28,8 т/га против 23,6-26,1 т/га на участках первых двух вариантов. Удельные затраты воды на формирование урожая картофеля при поливе по дифференцированной схеме не превышали 82 м<sup>3</sup>/т, тогда как при поддержании постоянных предполивных порогов, - возрастали до 95-106 м<sup>3</sup>/т.

Одним из ключевых параметров технологии орошения картофеля, как и любой сельскохозяйственной культуры, является правильно установленная поливная норма. В опубликованной литературе [123], ссылаясь на многолетние опытные данные, рекомендуется ограничивать поливную норму 20-30 мм, ориентируясь, прежде всего, на биологию картофельного растения. Опытами, заложенными и реализованными в Ростовской области [88], к исследованию были поставлены вопросы, связанные с возможностью установления поливной нормы расчетным путем, и допустимостью изменения расчетной поливной нормы в условиях производства. Наибольший урожай картофеля, 36,2-37,9 т/га, был получен в вариантах, где поливы дождевальными машинами «Фрегат» проводили расчетной нормой. В тоже время отмечено, что увеличение расчетной поливной нормы на 20 % не обеспечило повышения урожайности картофеля, а при снижении поливной нормы на 20 %, - урожайность товарных клубней снижалась на 4,0-6,0 %.

Опытами [60, 62, 63], проведенных на базе того же хозяйства в Ростовской области, установлена возможность получения урожая картофеля без полива. Однако

урожайность товарных клубней при этом не превышала 10,7 т/га. Кроме того, изучалась эффективность водосберегающего способа применения оросительных мелиораций (с проведением поливов только в фазы бутонизации и цветения картофеля) и интенсивного орошения (с проведением поливов в течение вегетационного периода). Наибольшая урожайность товарных клубней, 24,8 т/га, была получена в вариантах с интенсивным орошением. При этом оросительная норма составила 1680 м<sup>3</sup>/га, а за вегетационный период было проведено 4 полива по 420 м<sup>3</sup>/га.

Данные, полученные В.А. Кулыгиным, Г.Т. Балакаем и А.Н. Бабичевым [62] показали преимущество поддержания постоянного порога предполивной влажности почвы на уровне 80 % НВ при орошении картофеля в Центральной орошаемой зоне Ростовской области. Урожайность товарных клубней при этом достигала 23,0 т/га с удельными затратами воды на формирование тонны картофеля не более 186 м<sup>3</sup>/т. При реализации дифференцированного способа орошения, 70-80-70 % НВ, урожайность картофеля снижалась до 21,6 т/га, а коэффициент водопотребления сохранялся на уровне 189 м<sup>3</sup>/т.

В опытах [141] исследовалась эффективность орошения различных сортов картофеля, возделываемых в природных условиях Астраханской области. Было изучено 24 сорта отечественной и зарубежной селекции и определено, что наименьшие затраты воды на формирование урожая картофеля среди раннего картофеля обеспечивались в посадках сортов Дельфин (78,9 м<sup>3</sup>/т) и Каратоп (103,6 м<sup>3</sup>/т). Популярные сорта Удача и Ред Скарлет по эффективности использования воды на формирование урожая идут во втором эшелоне (117,6 и 118,1 м<sup>3</sup>/т соответственно). Наибольшие затраты воды на формирование урожая товарных клубней картофеля в опытах были получены у сорта Даренка (285,8 м<sup>3</sup>/т) и у сортов Кураж (496,8 м<sup>3</sup>/т) и Родрига (283,3 м<sup>3</sup>/т). Столь существенное увеличение затрат воды на формирование урожая клубней картофеля автор связывает со снижением общей продуктивности посадок у низко-адаптированных к местным природным условиям сортов.

Опытами [17], проведенными в сухостепной зоне светло-каштановых почв Нижнего Поволжья, была подтверждена эффективность применения капельного

орошения для полива картофельных посадок. Наибольшие урожаи получали при проведении поливов, ориентированных на увлажнение 0,4-метрового слоя почвы и поддержание дифференцированного предполивного порога по схеме: 60-65 % НВ – до фазы бутонизации растений, 85-90 % НВ – в период бутонизации и цветения, 70-75 % НВ – после цветения, до уборки урожая.

В опытах В.В. Мелихова, А.А. Новикова [75] исследовалась эффективность дифференцированных режимов капельного орошения раннего картофеля, 70-80 % НВ, отличающихся продолжительностью поддержания предполивного уровня 80 % НВ: вариант 1 – в течение вегетационного периода, вариант 2 – с начала фазы бутонизации, вариант 3 – с начала фазы цветения. Опыты были проведены в Ленинском районе Волгоградской области, расположенном в зоне распространения светло-каштановых почв Нижневолжского региона. Наибольшие урожаи, 38,2-42,0 т/га, были получены при поддержании порога предполивной влажности почвы не ниже 80 % НВ с фазы бутонизации картофеля. При этом до фазы бутонизации поливы проводили для поддержания предполивного уровня 70 % НВ.

Обобщение и анализ накопленного опыта орошения картофеля позволяет сформулировать ряд общих положений по повышению эффективности применения оросительных мелиораций в условиях засухи:

- наличие динамической связи между влажностью почвы и оптимальной температурой клубнеобразования позволяет регулировать уровень последней путем проведения вегетационных поливов;

- наличие общей тенденции к снижению поливных норм и увеличению частоты проведения поливов, обеспечивающих повышение эффективности расходования воды на формирование урожая, которая проявляется, в том числе, в активном освоении капельного способа орошения;

- необходимость учета особенностей различных способов полива при освоении оптимальных, климатически обоснованных, режимов орошения картофеля, в том числе, при возделывании в ранней культуре.

## 1.2.2 Перспективные способы полива и техника орошения

В большинстве литературных источников [2, 19, 49, 51, 52, 57, 63, 74, 88, 141] имеются сведения об использовании для полива картофеля следующих способов:

- поверхностное, преимущественно, полив по бороздам;
- полив способом дождевания;
- использование для полива капельного орошения.

Исторически развитие технологий орошения картофеля связано с этими способами орошения именно в том порядке, в каком они представлены выше. Данные по эффективности применения различных способов полива не однозначны и, в историческом аспекте, существенно зависят от уровня развития технологий и агроклиматических особенностей региона исследований. Например, в условиях Республики Башкортостан и в настоящее время наибольшие урожаи (32,8 т/га) собирают при поливе картофеля по бороздам [49]. При этом на фоне капельного орошения урожайность картофеля составила 22,6 т/га, а при дождевании – 19,3 т/га. Следует признать, что коэффициент эффективности использования оросительной воды, определяемый как отношение прибавки урожая к оросительной норме, был наибольшим (8,82) при капельном орошении.

На юге России для полива картофеля широко используется дождевание с применением дождевальных машин и установок разных конструкций. В опытах [88], реализованных в природных условиях Ростовской области при поливе дождевальной машиной «Фрегат» урожайность картофеля достигала 41,2-43,0 т/га. В условиях равнинной зоны Дагестана [79] при орошении способом дождевания урожайность товарных клубней картофеля составила 28,8 т/га. На светло-каштановых почвах Волгоградской области при дождевании урожайность картофеля достигала 25-35 т/га с сохранением стабильных урожаев по годам проведения исследований [56, 57, 58, 59, 81].

Главным достоинством орошения картофеля с применением дождевальных машин и установок является использование имитации дождя, то есть естественных для растений условий. В отличие от полива по бороздам существенно сокра-

щаются затраты оросительной воды, орошаемый участок смачивается более равномерно, поверхностный сток воды при оптимизации техники полива сводится к минимуму [49]. Современный мировой рынок дождевальной техники представлен широким спектром технических решений и торговых брендов. Из отечественных машин инновационные технологические решения реализованы в моделях дождевалок марки «Кубань – ЛК1», ДМФЕ «Фрегат» и «Фрегат – Н» [30, 134]. В зарубежных моделях инновационная политика наиболее успешно реализуется в дождевальных машинах семейства Valley и Valley Rainger, Lindsay, Bauer (Centerliner, Monostar BMS-100, Linestar), Reinke, IRRIFRANCE, Urapivot [20, 38, 115, 122, 146, 148, 149, 150, 151]. При сохранении общих тенденций и динамики развития технических конструкций в каждом сегменте производства дождевальных машин предлагаются уникальные конструктивные решения, обеспечивающие преимущества в эксплуатации и увеличение диапазона регулировок режимов работы оросительной техники.

Современные структурные изменения в сельскохозяйственном укладе России сопровождаются ростом роли относительно небольших по размерам оросительных участков, оборудованных мобильными средствами водоподдачи и небольшими насосными станциями. Одним из перспективных путей решения проблемы орошения небольших участков является использование мобильных дождевателей полосового типа [142, 143, 144].

Отечественная промышленность ряд мобильных полосовых дождевателей, в число которых входят «Агрос» ДШ-90, «Агрос» ДШ-90Ф, «Агрос» ДШ-110, «Агрос» ДШ-110Ф [144]. Все дождеватели обеспечивают возможность проведения поливов во время движения, при этом водозабор идет от гидранта закрытой оросительной сети. От гидранта вода по шлангу подается на дождевальный аппарат. Под давлением воды работает гидропривод турбинного типа, приводящий в движение барабан. Вращением барабана тросопровод подтягивает ферму к основному агрегату (дождевателю), при этом орошая землю. Дождевальные машины Ир-римек (Италия) отличаются надежная гидротурбина с запатентованным механизмом и широчайший набор моделей, позволяющий подобрать дождевальную установку



для полива участков различных конфигураций [143]. Длина шланга может достигать 670 м. Аналогичные шланговые машины предлагает австрийская фирма BAUER [142]. В зависимости от конфигурации и размеров орошаемого участка шланговый дождеватель может комплектоваться: полиэтиленовым трубопроводом с диаметром от 65 до 140 мм и длиной от 270 до 750 м; дождевателями с эффективной шириной полосы увлажнения от 53 до 118 м и производительностью от 14 до 124 м<sup>3</sup>/час. Производительность полива в этом случае составляет от 3 до 35 га, при гидромодуле 1,0 л/с/га; консольными дождевателями с эффективной шириной полосы увлажнения 34-86 м. Производительность полива в этом случае от 3 до 30 га, при гидромодуле 1,0 л/с/га. Рабочее давление комплектов в зависимости от параметров шлангового дождевателя составляет 3,5-11,0 атм.

Ряд авторов [19] наиболее эффективным способом полива картофеля считают капельное орошение. Оно обеспечивает возможность точного регулирования потребления растениями влаги и элементов минерального питания; при этом поливной режим полностью определяется количеством потребляемой влаги и контролируется при помощи специальных измерительных инструментов полуавтоматического и автоматического действия.

Общая схема систем капельного орошения состоит из гидравлически соединенных источника оросительной воды (открытого или закрытого типа, напорного или безнапорного), насосной станции (в случае использования безнапорного источника воды), системы фильтрации (включая фильтры грубой и тонкой очистки в различных комплектациях), установки для приготовления раствора минеральных удобрений, магистрального, распределительных и поливных трубопроводов и поливных водовыпусков капельного типа [19]. Регулировка подачи оросительной воды осуществляется при помощи системы, включающей запорную и контрольно-измерительную арматуру.

По мнению [139, 140] преимущества капельного орошения заключаются в сокращении зоны увлажнения почвы на орошаемом участке, что позволяет сократить непроизводительные затраты воды на физическое испарение, в возможности проведения поливов при интенсивном ветровом режиме, возможности проведения

поливов на склоновых землях или на участках со сложным топографическим строением, в возможности снижения поливных норм до уровня, при котором практически отсутствует внутрипочвенный сброс воды на инфильтрацию, в исключении потерь воды на поверхностный сток, в обеспечении возможности подачи минеральных удобрений с поливной водой или организации удобрительных поливов, в подавлении развития сорной растительности в сухих междурядьях, в улучшении водно-воздушного режима почв, сопровождающегося повышением урожайности культуры с совокупным снижением затрат воды на формирование урожая.

К недостаткам капельного орошения относят [46, 135] подтягивание солей из нижележащих горизонтов в верхний плодородный слой почвы, невозможность регулирования влажности воздуха в среде растений, невозможность использования для проведения противозаморозковых поливов, невозможность использования поливов для охлаждения почвы при высоких температурах воздуха и интенсивной солнечной инсоляции.

Перспективным решением для полива большинства сельскохозяйственных культур является набирающее сегодня все большую популярность спринклерное орошение [13]. По способу полива это все тоже дождевание, но в отличие от дождевальных машин здесь дождевание низкоинтенсивное (расход воды на полив примерно равен расходу воды при капельном орошении), а дождем охватывается вся площадь орошаемого участка. По мнению [19] преимущества спринклерного орошения заключаются в высокой равномерности распределения воды, снижении уровня воздействия капель на почву и растения, низкой интенсивности дождевания, высоком качестве дождя, возможности организации кратких циклов орошения. Высокая равномерность распределения воды достигается за счет 100-% ного перекрытия дождевых факелов от насадок (водовыпуски друг от друга размещаются на расстоянии, вдвое меньшем ширины захвата спринклера). Этим же обеспечивается высокая устойчивость формирования дождевого облака к ветру. Низкая интенсивность дождевания исключает образование поверхностного стока в

микрорегулирования, что позволяет эксплуатировать орошаемый участок в течение длительного периода без планировки [13, 19].

Для подвода воды к спринклерам, как правило, используются полимерные материалы [14]: полиэтиленовые трубы отечественного производства или гибкие поливные рукава типа «Лайфлет» диаметром 40–50 мм. За счет оборудования системы контроллером полива, устройствами телеметрии и управляемыми гидравлическими клапанами можно полностью автоматизировать процесс полива и внесения минеральных форм удобрений.

По мнению [3], в отличие от капельного орошения, главными преимуществами спринклеров является то, что при их использовании они не только возмещают дефицит почвенной влаги, но и повышают влажность воздуха в приземном слое, а также способствуют существенному снижению температуры почвы. Последнее особенно важно в период клубнеобразования картофеля.

Отмечается, что еще одним важным преимуществом спринклерного орошения является возможность использования его для обработок посевов ядохимикатами прямого и системного действия. В проведенных [13] опытах отмечено, что использование пестицидов и спринклерного орошения позволяет практически исключить возможность появления на картофельных растениях фитофтороза, альтернариоза, ризоктониоза, парши, макроспориоза, колорадского жука и тли.

Исследованиями [13, 14] установлено, что несмотря на высокую цену системы (которая составляет 100 тыс. руб./га и более), спринклерное орошение экономически оправдано в южных регионах России, где температурный фактор является одной из причин снижения урожая картофеля. В отличие от передвижных машин, стационарные системы спринклерного орошения обеспечивают возможность гибкого регулирования поливной нормы и оптимальную частоту полива. В отличие от большинства систем капельного орошения срок эксплуатации спринклеров составляет более 10 лет.

### **1.3 Особенности возделывания картофеля при орошении. Обоснование направления исследований**

Системы приемов возделывания картофеля в историческом аспекте прошли довольно большой эволюционный путь, четко разделив технологии, применяющиеся в системе богарного земледелия и в системе орошаемого земледелия. Общими во всех агротехнологиях возделывания картофеля являются [19, 43, 116, 117, 138]:

- выбор места и организация севооборота при возделывании картофеля в качестве основной или дополнительной культуры;
- совокупность приемов и операций по основной обработке почвы;
- совокупность приемов и операций по предпосевной обработке почвы;
- система удобрений картофеля;
- интегрированная система защиты картофеля;
- совокупность приемов и операций, связанных с посадкой картофеля;
- совокупность приемов и операций по уходу за посевами (включая проведение поливов в системе орошаемого земледелия).

Блок работ по уборке картофеля является завершающей фазой в системе полевого производства картофеля, но не имеет отношения к, собственно, технологии выращивания [138].

Выбор участка под картофель определяется, преимущественно, требованиями его биологии к почвенным условиям. Важно учитывать, что культура картофеля довольно чувствительна к почвенному засолению [27, 28]. Если считать по электропроводности, то пороговое значение степени засоления почв под картофель не превышает 1,7 дСм/м [19]. В качестве предшественника под картофель рекомендуется выбирать озимые колосовые [136, 138]. В овощных севооборотах, распространенных на орошаемых землях юга России картофель целесообразно высаживать после капусты, лука репчатого, огурцов, бахчевых и других культур, исключая пасленовые [19].

Качество основной обработки почвы, как и выбор участка под картофель является чрезвычайно важным условием формирования высоких урожаев. Почва под картофелем должна быть хорошо разрыхлена, обладать отличной проницаемостью для воды и воздуха [43, 61, 117]. Состав операций по основной обработке почвы назначается в зависимости от предшественника: если в качестве предшественника выбраны зерновые, то основная обработка почвы начинается с лущения дисковыми орудиями, если предшественниками являлись пропашные культуры, то необходимость в лущении стерни отпадает. Однако на полях, засоренных корнеотпрысковыми сорняками, даже по пропашным предшественникам целесообразно проведение обработок лемешными лущильниками [43]. После этого на почвах с мощным гумусовым горизонтом проводится зяблевая вспашка с предплужниками, а на маломощных, слабогумусированных почвах, - зяблевая вспашка с почвоуглублением.

Обязательной операцией по предпосевной обработке почвы является покровное боронование, которое позволяет снизить испарение влаги с поверхности почвы в ранневесенний период и является важным приемом в системе борьбы с сорной растительностью [116]. В дальнейшем в зависимости от сроков посадки картофеля проводится сплошная культивация и нарезка гребней или совмещенная операция по предпосевной культивации и формированию гребневого профиля поверхности почвы. При возделывании раннего картофеля на орошаемых землях юга России в последнее время все большую популярность приобретает проведение фрезерных обработок [61]. Плодородный слой почвы при этом приобретает ценный с агротехнической точки зрения микроагрегатный состав, а на поверхности почвы формируется гребневой профиль. Продолжительность проведения совокупности операций по предпосевной подготовке почвы при использовании фрезерных обработок сокращается на 7-10 дней.

Системе удобрений картофеля посвящено наибольшее количество исследовательских работ, эти вопросы довольно сильно проработаны для совершенно различных природно-климатических зон России [6, 19, 43, 51, 63, 68, 75, 117, 130, 138]. Во всех природных зонах России большой положительный эффект дает

применение под картофель органических удобрений – навоза [43]. Указывается, что внесение органических удобрений в массе 30-60 т/га, дает существенную прибавку урожая, улучшает структуру и плодородие почвы. В современных условиях, когда животноводство развито слабо и доступность органических удобрений ограничена, рекомендуется вместо навоза использовать сидераты. Доказано, что заплата сидератов эквивалента внесению 20-30 т/га навоза [19]. Опытами [68] установлено, что применение только органических удобрений не позволяет картофелю полностью удовлетворить потребности в элементах минерального питания. Ключевая роль для получения высоких урожаев отводится применению минеральных удобрений. В условиях орошения обеспечивается возможность использования фертигации, которая позволяет в разы повысить усвояемость минеральных удобрений [19]. При этом рекомендуется с поливной водой вносить до 80 % азотных удобрений, не более 30 % - фосфорных и до 50 % - калийных.

Интегрированная система защиты растений включает применение совокупности агротехнических приемов и широкое использование средств химической защиты растений. Применение гербицидов в настоящее время стало отличительным признаком интенсивных технологий. В опытах [98], использование гербицида Ураган Форте обеспечивало уничтожение свыше 95 % сорной растительности. Сочетание этого препарата с последующим внесением Зенкора дозой 1,3 кг/га в довсходовый период и 0,3 кг/га в послевсходовый период позволило в опытах получить 32,6-35,6 т/га высококачественных клубней картофеля. Для защиты от вредителей, таких как проволочник, колорадский жук, картофельная моль, тля, трипс наиболее эффективным оказались препараты Актара и Конфидор [19]. По мнению [43] не менее важны и агротехнические приемы сдерживания распространения основных вредителей картофеля, - возвращения культуры в севооборот не ранее чем через 4 года, борьба с сорняками в среде растений и на прилегающих к полю территориях.

Подготовка посадочного материала и посадка картофеля являются важнейшими агротехнологическими операциями, во многом определяющими будущей урожай клубней. Большинство ученых [18, 19, 117, 138] сходятся в мнении, что для

получения раннего урожая и повышения общей продуктивности картофеля семенные клубни следует проращивать. Для этого используются апробированные технологии проращивания в сухой и влажной среде, а также комбинированным способом [19]. От густоты и способа посадки зависит эффективность использования площади питания картофеля и формирование его архитектоники. Однако результаты опытов с густотой и способами посадки картофеля, полученные в различных природных зонах Российской Федерации, неоднозначны. В опытах [9], проведенных по многофакторной схеме в условиях Южного Урала наибольшие урожаи картофеля (до 32,47 т/га) были получены при посадке нормой 57,1 тыс. клубней/га. В работе [93] приводятся результаты исследований, проведенных в условиях Курской области при нормах посадки картофеля соответственно 25, 40, 55 и 70 тыс. клубней/га. Наибольшие урожаи во все годы исследований были получены на участках вариантов с загущенной посадкой картофеля (70 тыс. клубней/га). На участках, где картофель высаживали нормой 55 тыс. клубней/га урожайность была на 1,2-2,3 т/га ниже, чем при посадке 70 тыс. клубней/га. Однако, наибольшим падением продуктивности картофеля характеризовались варианты с нормой посадки 40 и 25 тыс. клубней/га, где урожайность товарных клубней снижалась на 6,8-20,0 т/га.

В засушливых условиях юга России при орошении наибольшие урожаи картофеля обеспечивались при посадке клубней нормой 55-60 тыс. шт./га [62, 88, 81]. На светло-каштановых почвах Волгоградской области [17] при орошении капельным способом получены данные о возможности получения рекордных урожаев картофеля (до 70 т/га) на фоне загущенных посадок (70 тыс. раст./га). Эффективность использования загущенных посадок картофеля подтвердилась также в опытах [114, 141], проведенных на фоне капельного орошения в зоне распространения светло-каштановых почв Астраханской области. В тоже время [74, 75] для получения наибольших урожаев картофеля клубни высаживали из расчета формирования плотности посадок в 60 тыс. раст./га. Опыты были проведены в зоне сухих степей Волгоградской области, а для полива также использовалось капельное орошение.

Следует признать, что помимо густоты посадки картофеля при разных способах полива часто применяются и разные способы посадки [17, 19, 49, 62, 75, 141]. Исторически сложилось, что при орошении по бороздам и при дождевании использовалась преимущественно посадка картофеля в гребень с междурядьем 0,7 м [49, 62, 81, 88]. Такая схема посадки имеет ряд агротехнологических преимуществ, предусматривая проведение от 1 до 3 междурядных обработок, окучивания картофеля. Однако, определенный интерес представляют и рекомендации по расширению междурядий картофеля до 0,9 м (вместо 0,7 м) при сохранении одинакового количества растений на единице площади. По мнению [43] это создает благоприятные условия для поглощения солнечной радиации, что положительно влияет на накопление урожая клубней.

В опытах [113, 114, 141] при капельном орошении успешно использовалась посадка картофеля по технологии «сдвоенного» рядка. Это типичная посадка растений ленточным способом, которая при капельном орошении позволяет вдвое снизить затраты на закупку и монтаж поливных капельных трубопроводов. Кроме того, этот способ имеет и определенные агротехнологические преимущества [19]:

- улучшение радиационного режима посадок при сохранении числа растений на гектаре;
- сохранение ценных водных и физических свойств почвы в зоне «сдвоенного» рядка, где размещаются растения и формируется урожай.

К недостаткам этого способа посадки следует отнести невозможность проведения обработок почвы внутри ленты по вегетирующим посадкам [73, 74]. Способ посадки в гребень через 0,7 или 0,9 м также широко используется в сочетании с капельным орошением картофеля. По мнению [17] это позволяет формировать загущенные посадки и повышать общую продуктивность картофеля за счет увеличения числа растений на орошаемом участке.

В опытах [13, 14] при спринклерном орошении использована традиционная схема посадки картофеля в гребень через 0,7 м. Следует признать, что в России спринклерное орошение культур открытого грунта распространение получило сравнительно недавно. В связи с этим данных, необходимых для обоснования оп-



тимального способа посадки картофеля при спринклерном орошении пока недостаточно.

Приемы ухода за посадками картофеля, как правило, являются составными агротехнологическими комплексами прочих систем в технологии возделывания, таких как система интегрированной защиты растений, система удобрения и т.п. В зависимости от способа посадки картофеля могут осуществляться довсходовые и послеवсходовые междурядные обработки, цель которых – улучшение водно-физических свойств почвы и борьба с сорной растительностью [43, 117].

В засушливых условиях юга России важным агротехнологическим комплексом, реализуемым в ходе вегетации картофеля, является орошение. Поливные нормы и частота проведения поливов при этом зависит как от способа полива, так и диапазона регулирования влажности почвы [19, 36, 60, 88, 107, 114, 139]. Для точного регулирования водного режима почвы в заданных пределах большое значение имеет способ контроля содержания в ней доступной влаги.

Теоретические и экспериментальные обобщения [103, 104] позволили сформулировать определенные правила контроля влажности почвы при орошении сельскохозяйственных культур:

- выбор площадки для контроля влажности почвы должен осуществляться с соблюдением требований однородности почвенного покрова (по отношению к почвенному покрову орошаемого участка) и однородности растительного покрова (по отношению к растительному покрову орошаемого участка);

- площадь площадки определяется числом предполагаемых скважин, бурения которых будет достаточно для наблюдения за влажностью почвы в течение вегетационного периода, а также необходимостью охвата различных почвенных условий (на «пестрых» почвах) и растительного покрова (с неоднородной архитектурой посева);

- повторность измерения влажности почвы назначается исходя из требуемой точности определения. Например, при использовании термостатно-весового метода определения влажности почвы считается достаточным 10 % -я точность из-

мерений. На разных почвах минимальное число повторности измерений изменяется от 4-6 до 30-ти;

– внутри площадки скважины размещаются с учетом архитектуры посева. Например, в рядовых посевах (посадках) влажность почвы определяется и в рядке и в междурядье. При этом в узкорядных посевах (посадках) при разрастании вегетативной массы переходят на определение влажности почвы в междурядье, а в широкорядных посевах (посадках), - изначальная схема сохраняется в течение всего вегетационного периода.

Следует признать, что приведенные особенности контроля влажности почвы вырабатывались не только для практического использования при назначении поливов, но и для исследования водного режима почвы. Кроме того, разработанные правила ориентированы, прежде всего, на использование метода определения влажности почвы с изъятием почвенных образцов. В настоящее время все большую популярность приобретают методы контроля влажности почвы по показаниям датчиков, расположенных непосредственно на орошаемом участке и оборудованном устройствами телеметрии и визуализации данных [78, 108]. Как пример такого оборудования можно рассматривать систему CropSense [108], которая позволяет измерять и визуализировать влажность почвы с горизонтов 0,1, 0,2, 0,3 и 0,5 м. Данные через устройства телеметрии передаются на регистратор, с которого могут быть загружены в интернет или на персональный компьютер. Использование подобных методов контроля влажности почвы имеет массу преимуществ, однако оборудование, как правило, имеет высокую стоимость, которая пропорциональна количеству устанавливаемых датчиков.

Другим аспектом проблемы контроля содержания влаги в почве с целью назначения вегетационных поливов является определенная инерционность передвижения влаги в почве [37]. В исследованиях [105], посвященных анализу водопоглощающей функции корневой системы растений, было отмечено, что скорость перемещения воды в почве относительно невысока и поэтому исходное содержание почвенной влаги в местах иссушения восстанавливается крайне медленно. Теоретические исследования [37] подтвердили, что почва является средой, где

возникают и довольно долго сохраняются большие градиенты содержания воды. По его мнению, это происходит в результате низкой скорости перемещения воды к зонам иссушения. Последнее особенно важно учитывать при возделывании сельскохозяйственных культур со слаборазвитой корневой системой и сильно развитой надземной частью растений, а также при использовании широкорядных способов посева или посадки.

Таким образом, агротехника картофеля носит четко выраженный зональный характер, а в условиях орошения – зависит от способа полива. Например, при поливе по бороздам особое внимание уделяется планировке орошаемого участка, геометрическим параметрам поливных борозд, размер которых строго регламентирован особенностями инфильтрации и движения воды на данном типе почв. При поливе способом дождевания планированию орошаемого участка уделяют большое внимание, однако размер и форма междурядий в посадках картофеля может изменяться, адаптируясь к сортовым особенностям картофельных растений. При использовании для полива систем капельного орошения выравненность поля, уклоны и сложный рельеф уже не играют той определяющей роли, как при поливе по бороздам или дождевании. В тоже время архитектуру посева оптимизируют с целью минимизации затрат материальных ресурсов, в частности – поливных трубопроводов системы капельного орошения. При спринклерном орошении, представляющего собой низкоинтенсивное дождевание, уклоны и выравненность орошаемого участка не имеют большого значения, и в тоже время нет необходимости корректировать структуру посева с целью минимизации затрат на водораспределительные конструкции оросительной системы. Появляется возможность оптимизировать способы посадки картофеля, прежде всего, учитывая биологию культуры, а не особенности организации инженерных сетей орошения. С выбором способа посадки картофеля тесно связана и эффективность орошения, которая зависит от надежности выбранной методики контроля предполивной влажности почвы. Тенденция в развитии техники и технологий контроля влажно-

сти почвы однозначно ставит вопрос о необходимости перехода на методы, опирающиеся на показания стационарно установленных датчиков. Нерешенными вопросами здесь являются:

- оценка возможности минимизации зон контроля влажности почвы, а соответственно, - затрат на дорогостоящее оборудование;
- обоснование места расположения зон контроля предполивной влажности почвы при использовании разных способов посадки картофеля.

Перспективы использования спринклерного орошения, рассматриваемого как стационарную систему низкоинтенсивного дождевания, отсутствие данных для научного обоснования эффективного способа посадки картофеля при спринклерном орошении, оптимизация методов контроля предполивной влажности почвы с возможностью использования стационарных почвенных датчиков, - необходимость решения этого круга вопросов и определило направление наших исследований.

## 2. ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Программа и методики исследований

В основу рабочей гипотезы исследований положено предположение о необходимости адаптации приемов возделывания сельскохозяйственных культур с переходом на системы малообъемного стационарного дождевания, которые должны максимально учитывать биологические особенности растительных видов и обеспечивать эффективное использование технологических преимуществ внедряемых систем орошения.

Одним из наиболее важных «спорных» вопросов адаптации технологии возделывания картофеля к спринклерному орошению, являются способы посадки. Ретроспективный анализ информации в этом направлении показал, что основным, имеющим эколого-экономическое обоснование, способом посадки картофеля при орошении дождевальными машинами является посадка в гребень через 0,7 м. Основным способом посадки картофеля на капельном орошении стала посадка в сдвоенный рядок, что позволило существенно экономить на комплектующих системы [19, 73, 74, 135]. При спринклерном орошении нет экономии комплектующих системы при посадке в сдвоенный рядок, однако есть такая же возможность гибкого регулирования поливных норм и сроков полива, как при капельном орошении. Вопрос о том, какой способ посадки в этих условиях окажется более выгодным, остается открытым. Кроме того, следует учитывать, что при спринклерном орошении нет жесткой привязки растения к схеме раскладки поливных трубопроводов, как при капельном орошении. Указанные особенности спринклерного орошения актуализируют необходимость решения сразу ряда задач:

- необходимость исследования закономерностей роста и развития картофеля с оценкой структуры урожая при разных способах посадки на фоне спринклерного орошения;

- необходимость исследования ресурсопотребления при использовании для возделывания картофеля разных способов посадки на фоне спринклерного орошения;

– необходимость проведения комплексных оценок эффективности способов посадки картофеля при спринклерном орошении по совокупности критериев, характеризующих общую продуктивность культуры, эффекты водосбережения и экономическую привлекательность потенциальных проектов.

Кроме решения указанной совокупности задач, которая в итоге сводится к задаче обоснованного выбора способа посадки картофеля, необходима оптимизация параметров посадки (выбор оптимальной формулы посадки картофеля при спринклерном орошении). Для решения этих вопросов был заложен полевой эксперимент со следующими вариантами:

– вариант А1 – посадка клубней картофеля в гребень через 0,7 м (контроль);

– вариант А2 – посадка клубней картофеля ленточным способом (по технологии сдвоенного рядка) с расстоянием между рядками в ленте 0,5 м и междурядьем 0,7 м;

– вариант А3 – посадка клубней картофеля ленточным способом (по технологии сдвоенного рядка) с расстоянием между рядками в ленте 0,5 м и междурядьем 0,9 м;

– вариант А4 – посадка клубней картофеля ленточным способом (по технологии сдвоенного рядка) с расстоянием между рядками в ленте 0,5 м и междурядьем 1,1 м.

Необходимость закладки фактора В по плану полевого эксперимента имеет при спринклерном орошении картофеля, по крайней мере, две предпосылки, которые сводятся к следующему:

– первая определяется активным освоением точечных методов автоматизированного контроля влажности почвы по показаниям электрических датчиков или тензиометров. Метод чрезвычайно эффективен, но приборы для измерения влажности почвы имеют высокую стоимость, которая прямо пропорциональна количеству устанавливаемых датчиков. Это ставит задачу минимизации числа зон постоянного контроля влажности почвы;

– вторая основывается на теории отбора влаги корневой системой, которая связывает плотность размещения корней и координатную динамику иссушения

почвы. Учитывая, что в рамках фактора А закладываются варианты с шириной междурядий до 1,1 м, задача дифференцированного учета влажности почвы в зоне размещения растений и в междурядьях, видится особенно актуальной.

Таким образом, задача, для решения которой по плану полевого эксперимента был заложен фактор В, определяется необходимостью оптимального размещения зон непрерывного контроля влажности почвы. Для решения этой задачи по плану полевого эксперимента были заложены следующие варианты:

- вариант В1 – устройство постоянных водобалансовых площадок по смешанному типу, в междурядьях и в зоне размещения растений (контроль);
- вариант В2 – устройство постоянных водобалансовых площадок в междурядьях;
- вариант В3 – устройство постоянных водобалансовых площадок в зоне размещения растений.

Закладка полевого эксперимента проводилась методом расщепленных делянок, где площадь делянок первого уровня (фактор А) в одной повторности составила 840 м<sup>2</sup>, делянок второго уровня (фактор В) в одной повторности - 280 м<sup>2</sup>, площадь единичной делянки, образованной сочетанием изучаемых факторов, - 280 м<sup>2</sup> (рисунок 2.1). Площадь всей совокупности вариантов опыта в одной повторности составила 0,72 га, повторность опыта – четырехкратная. Принципы репрезентативности, единственного различия, единообразия, однородности почвенного покрова и истории опытного участка при закладке опыта были соблюдены в соответствии с требованиями общепринятой методики [31]. Рельеф и гидрологические условия по площади опытного участка были одинаковы. Тип формирования почвенного покрова опытного участка – автоморфный, сезонная динамика глубины залегания грунтовых вод составляет 8,5- 12,0 м.

Программой исследований предусматривалась организация непрерывного мониторинга метеорологических условий на опытном участке, оценка водно-физических свойств и показателей актуального плодородия почвы, закладка постоянных водобалансовых площадок, организация регулярных измерений влажности почвы, определение водопотребления, проведение фенологических наблю-

дений с регистрацией основных фаз роста и развития картофеля, биометрических учетов вегетирующих растений, организация учета урожая с оценкой биохимического состава и качества клубней.

Отбор проб почвы для определения ее физических и агрохимических свойств проводили в 8-кратной повторности по диагонали опытного участка. Плотность твердой фазы почвы определяли в лаборатории пикнометрическим методом [99]. Предварительная подготовка почвенных образцов для определения плотности твердой фазы заключалась в его высушивании до абсолютно сухого состояния, растирании и просеивании через сито с диаметром 1 мм. Навеска почвы для пикнометра бралась равной 8-10 г.

Пробы почвы для определения ее плотности сложения брали специальным буром из почвенного разреза до глубина 0,5 м для каждого из горизонтов, мощностью 0,1 м [5]. Емкость бура, используемого для отбора проб почвы 50 см<sup>3</sup>. Отобранные пробы с известным объемом почвы в ненарушенном состоянии высушивали в лабораторных условиях при температуре 105 °С до постоянного веса. Плотность сложения почвы определяли из соотношения:

$$\rho = \frac{M_{\text{п}}}{V_{\text{б}}}, \quad 2.1$$

где  $M_{\text{п}}$  – масса образца почвы, доведенного до абсолютно сухого состояния, г,  $V_{\text{б}}$  – объем бура (50 см<sup>3</sup>).

Общую пористость почвы определяли по известным значениям плотности сложения и плотности твердой фазы почвы из соотношения [5]:

$$V_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{т.ф.}} - \rho}{\rho_{\text{т.ф.}}} \cdot 100\%, \quad 2.2$$

где  $\rho_{\text{т.ф.}}$  – плотность твердой фазы почвы, т/м<sup>3</sup>

Определение наименьшей влагоемкости почвы проводили методом заливаемых площадок [99] в четырехкратной повторности. Для исключения испарения влаги с поверхности почвы после впитывания воды площадки укрывали полиэтиленовой пленкой. Отбор проб почвы на влажность начинали на 2-е сутки после заливки. Повторный отбор проб и последующий (при необходимости) проводили



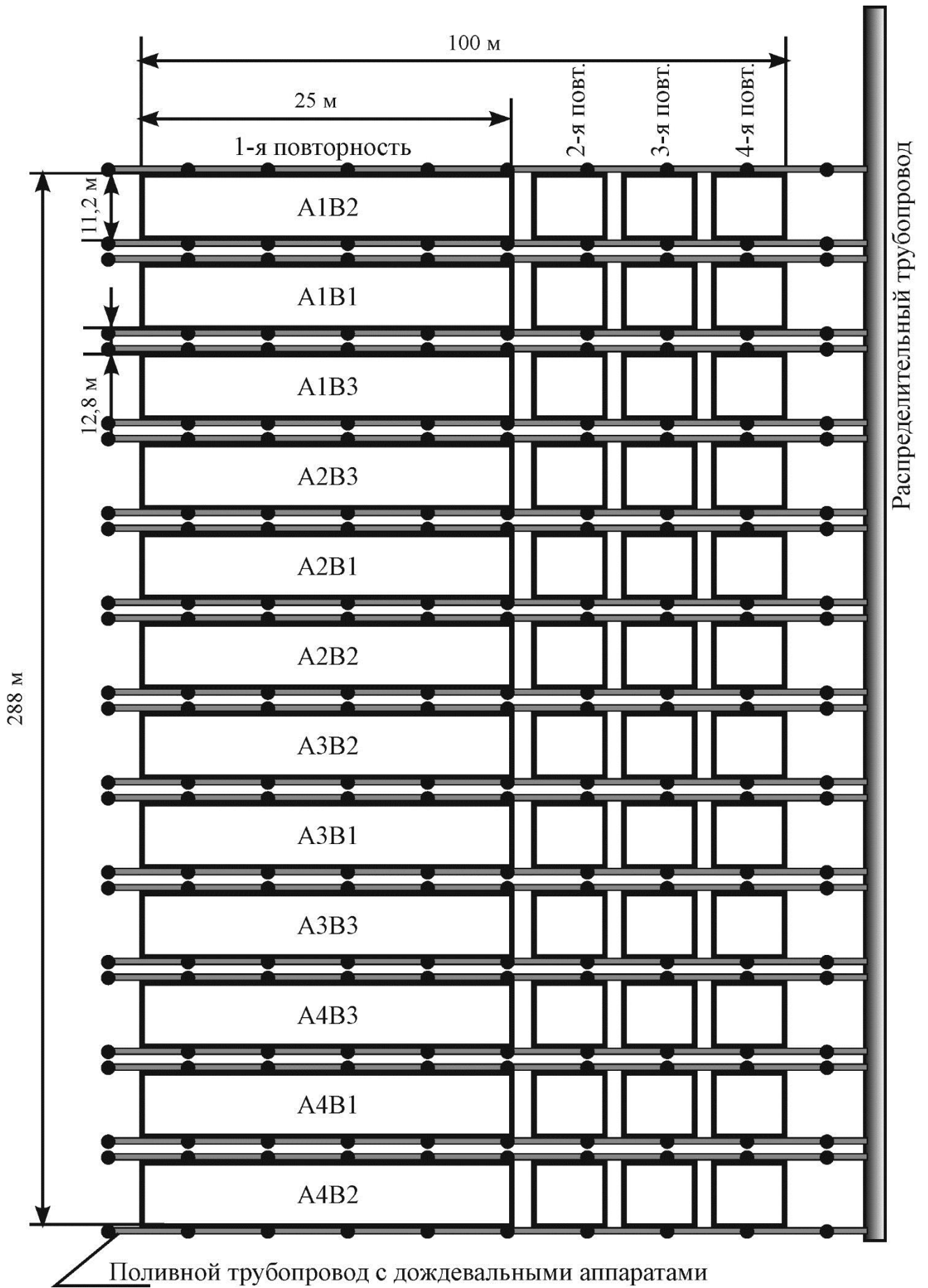


Рисунок 2.1 – Схема полевого эксперимента

через сутки. Исследования считали завершенным, если распределения влаги в почвенных горизонтах было одинаковым в двух последовательных измерениях.

Влажность устойчивого завядания растений принимали равной максимальной гигроскопичности почвы, увеличенной в полтора раза [23]. Определение максимальной гигроскопичности почвы проводилось в лабораторных условиях по методу А.В. Николаева, путем насыщения образцов абсолютно сухой почвы паробразной водой атмосферы в среде сернокислого калия.

Для изучения актуального плодородия почвы на опытном участке опытами предусматривалось ежегодное определение содержания гумуса (методом, предложенным И.В. Тюриным), кислотности по горизонтам с использованием потенциометра, определение гидролизуемых форм азота (методом И.В. Тюрина и М.М. Кононовой), а также подвижных форм фосфора и калия по методу Б.П. Мачигина [48].

Мониторинг температуры и относительной влажности воздуха, объема поступления атмосферных осадков, скорости и направления ветра был организован непосредственно на опытном участке. Для этого использовали компактную метеостанцию Oregon Scientific WMR300. Для измерения объема поступления атмосферных осадков и периодического контроля слоя осадков при спринклерном орошении использовали дождемеры Давитая [91].

Контроль влажности почвы для назначения очередных вегетационных поливов проводили на постоянных водобалансовых площадках, организованных в соответствии с программой полевого эксперимента. Повторность – четырехкратная, отбор проб проводили на глубину активного слоя почвы через 0,1 м. Для проведения водобалансовых исследований и экспериментального определения суммарного водопотребления контроль влажности почвы проводили дифференцированно, в междурядьях и в зоне размещения растений, до глубины 2,0 м. Содержание влаги в отобранных образцах почвы определяли на базе полевой лаборатории по ГОСТ 28268-89 [23].

Расчет суммарного водопотребления проводили по упрощенному водобалансовому уравнению [71]. Учитывали поступление атмосферных осадков ( $Q_{\text{атм.}}$ ), оросительную норму ( $M$ ) и изменение запасов почвенной влаги ( $\Delta W$ ):

$$ET_{\text{crop}} = M + Q_{\text{атм.}} + \Delta W \quad 2.3$$

Динамику почвенных влагозапасов контролировали дифференцированно, в междурядье и в зоне размещения растений, а общее изменение запасов почвенной влаги принималось равным сумме изменений почвенных влагозапасов в рядке и междурядье.

Поливную норму определяли расчетным методом исходя из водно-физических свойств почвы, мощности увлажняемого горизонта и заданного диапазона регулирования влажности почвы [53]:

$$m = 100 \cdot \rho \cdot H \cdot (\beta_{\text{НВ}} - \beta_{\text{ППВ}}), \quad 2.4$$

где  $H$  – мощность увлажняемого горизонта почвы, м,  $\beta_{\text{НВ}}$  – весовая влажность почвы в состоянии наименьшей влагоемкости, %,  $\beta_{\text{ППВ}}$  – порог предполивной влажности почвы в весовых процентах.

Значения среднесуточного водопотребления и температурных коэффициентов испарения влаги определяли для каждой фазы роста и развития картофеля из отношения суммарного водопотребления посевов за период к продолжительности этого периода или сумме среднесуточных температур воздуха, накопленной за этот же период [90].

Эффективность использования воды на формирование урожая при спринклерном орошении картофеля оценивали по коэффициенту водопотребления, определяемого отношением суммарного водопотребления за вегетационный период культуры к общей продуктивности посевов [53, 73].

В состав работ по программе фенологических исследований входила регистрация дат наступления фаз роста и развития картофеля. В соответствии с требованиями общепринятых методик [31, 76, 89] за начало наступления очередной фенологической фазы принимали дату, когда признаки фазового развития проявлялись не менее, чем у 10 % растений. Полное вступление в фазу регистрирова-

лось на дату, когда признаки фазового развития проявлялись не менее, чем у 75 % растений.

Параллельно с фенологическими наблюдениями контролировали плотность размещения растений для каждого варианта опыта. Для этого число растений на дату наступления каждой новой фазы подсчитывали на 1 п. м. в 5-ти кратной повторности [99].

Совокупность показателей, используемых для оценки фотосинтетической активности картофеля, включала пофазный учет массы сырого и сухого органического вещества, накапливаемого растениями, учет площади и динамики развития листового аппарата, расчет фотосинтетического потенциала и определение значения продуктивности фотосинтеза.

Учет массы сырого и сухого органического вещества проводили еженедельно, а также на даты наступления основных фаз роста и развития картофеля по 16 модельным растениям [100]. В период закладки и формирования клубней их вес также учитывался при определении массы органического вещества, накопленного растениями. Для этого определяли биологический урожай клубней и проводили их биохимический анализ с последующим расчетом накопленной массы сухого вещества. Вес материнского клубня при этом не учитывали. Вегетативную часть растений сушили в специально выделенном, сухом помещении без доступа прямой солнечной радиации [76]. По результатам учетов для каждой фазы роста и развития картофеля определяли: 1) массу сухого вещества, накопленную картофелем в пересчете на 1 га посевной площади; 2) прирост сухой биомассы за межфазный период.

Площадь листового аппарата определяли сразу после отбора растительных образцов путем полного съема листьев с 8-ми модельных растений в условиях полевой лаборатории. Экспресс-оценка площади листьев в собранных образцах проводилась методом высечек [76]. Пересчет площади листьев картофеля на 1 га посевной площади проводили с учетом густоты стояния растений. Используя пофазные значения площади листового аппарата, определяли величину фотосинтетического

потенциала картофеля, для чего использовали формулу приближенного вычисления:

$$P_{\phi} = \frac{S_{\text{к.ф.}} + S_{\text{н.ф.}}}{2} \cdot N, \quad 2.5$$

где  $S_{\text{к.ф.}}$  - площадь листьев на конец фазового периода, тыс. м<sup>2</sup>/га;  $S_{\text{н.ф.}}$  - площадь листьев на начало фазового периода, тыс. м<sup>2</sup>/га,  $N$  – число дней в периоде, сут.

Значения чистой продуктивности фотосинтеза картофеля для каждого варианта опыта определяли расчетным методом [86, 100]:

$$I = \frac{M_2 - M_1}{P_{\phi}}, \quad 2.6$$

где  $M_2$  и  $M_1$  - масса вещества в абсолютно сухом состоянии, накопленного картофелем за расчетный период, т/га,  $P_{\phi}$  - фотосинтетический потенциал картофеля за этот же период, тыс. м<sup>2</sup> дн./га.

Учет урожая клубней картофеля проводили сплошным методом [31]. Уборка урожая сопровождалась калибровкой клубней картофеля по фракциям с учетом как общего веса клубней, так и веса клубней в каждой фракции. Параллельно были сформированы пробы для учета биохимического состава клубней с целью оценки их качества.

Все данные, полученные в результате физических измерений, учетов или наблюдений обрабатывались методом дисперсионного анализа [32, 118]. Для оценки формы и степени зависимостей между показателями использовали методы корреляционного и регрессионного анализа [31, 109].

Оценка экономической эффективности спринклерного орошения картофеля в зависимости от способа посадки семенных клубней и размещения зон непрерывного контроля влажности почвы проводилась с учетом требований методики оценки инвестиционных проектов [11].

## 2.2 Место и условия проведения экспериментальных исследований

### 2.2.1 Место проведения экспериментальных исследований и характеристика почвенного покрова опытного участка

Полевые исследования в соответствии с утвержденной программой проводились в 2012-2014 гг. на базе КФХ «Садко» Дубовского района Волгоградской области. Территория опытного участка расположена в зоне распространения светло-каштановых почвы региона Нижней Волги. В границах фермерского хозяйства получили распространения тяжело – и среднесуглинистые почвы. Опыты проводились на почвах со среднесуглинистым гранулометрическим составом (рисунок 2.2-2.3), наиболее типичным для региона исследований. Общее содержание частиц почвы менее 0,01 мм (физическая глина) изменялось 35,3 до 38,9 %, причем большую фракцию занимали частицы размером 0,005-0,01 мм.

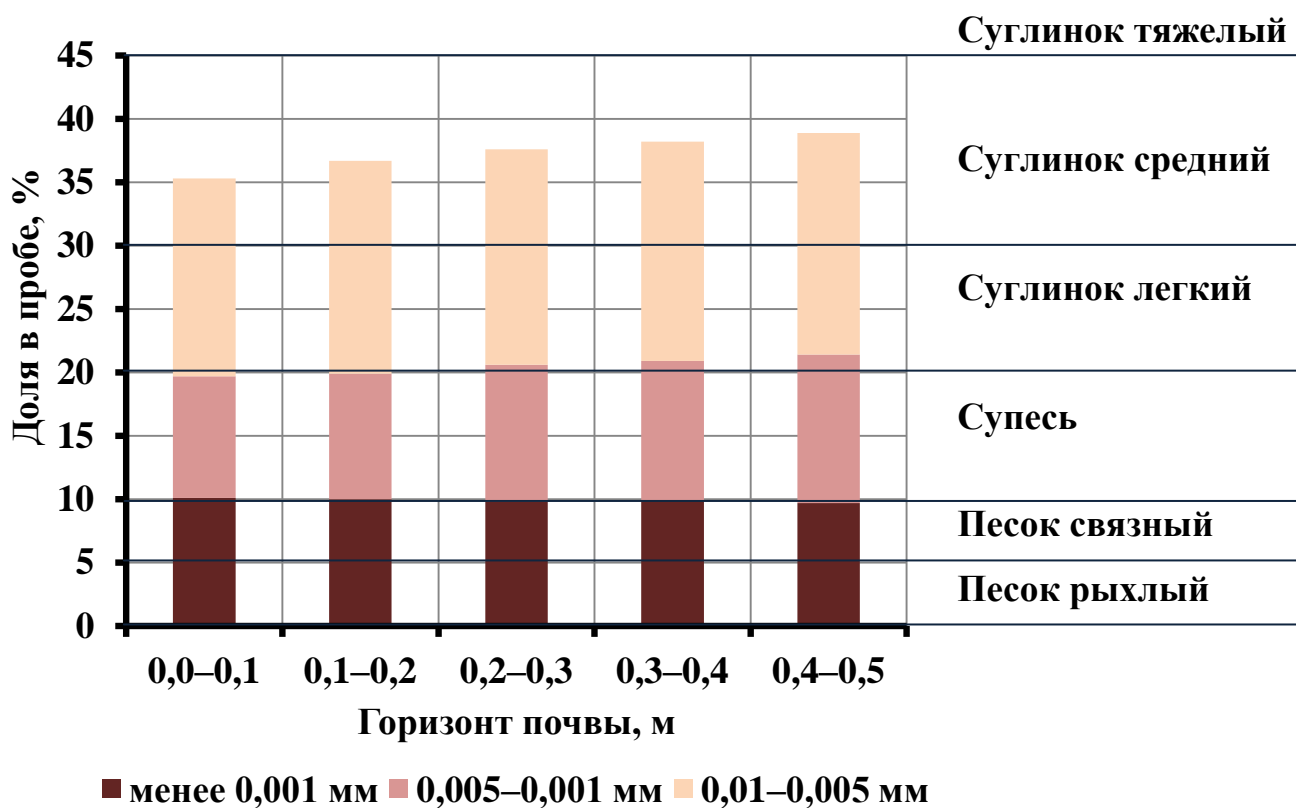


Рисунок 2.2 – Диаграмма распределения частиц почвы менее 0,01 мм

Среди частиц больше 0,01 мм (физический песок) большую часть занимали частицы размером 0,05-0,25 мм. На приведенных диаграммах распределения частиц почвы по фракциям прослеживается тенденция к увеличению дисперсности почвы с увеличением глубины горизонта отбора проб.

Показатели, характеризующие водно-физические свойства почвы опытного участка, имеют распределение, типичное для светло-каштановых почв региона (таблица 2.1). Плотность сложения твердой фазы составляет 2,50-2,54 т/м<sup>3</sup>, со слабой динамикой увеличения по глубине изучаемого слоя. Плотность сложения почвы в ненарушенном состоянии изменяется от 1,21 до 1,25 т/м<sup>3</sup> в пахотном слое и увеличивается до 1,27-1,29 т/м<sup>3</sup> – в подпахотных горизонтах.

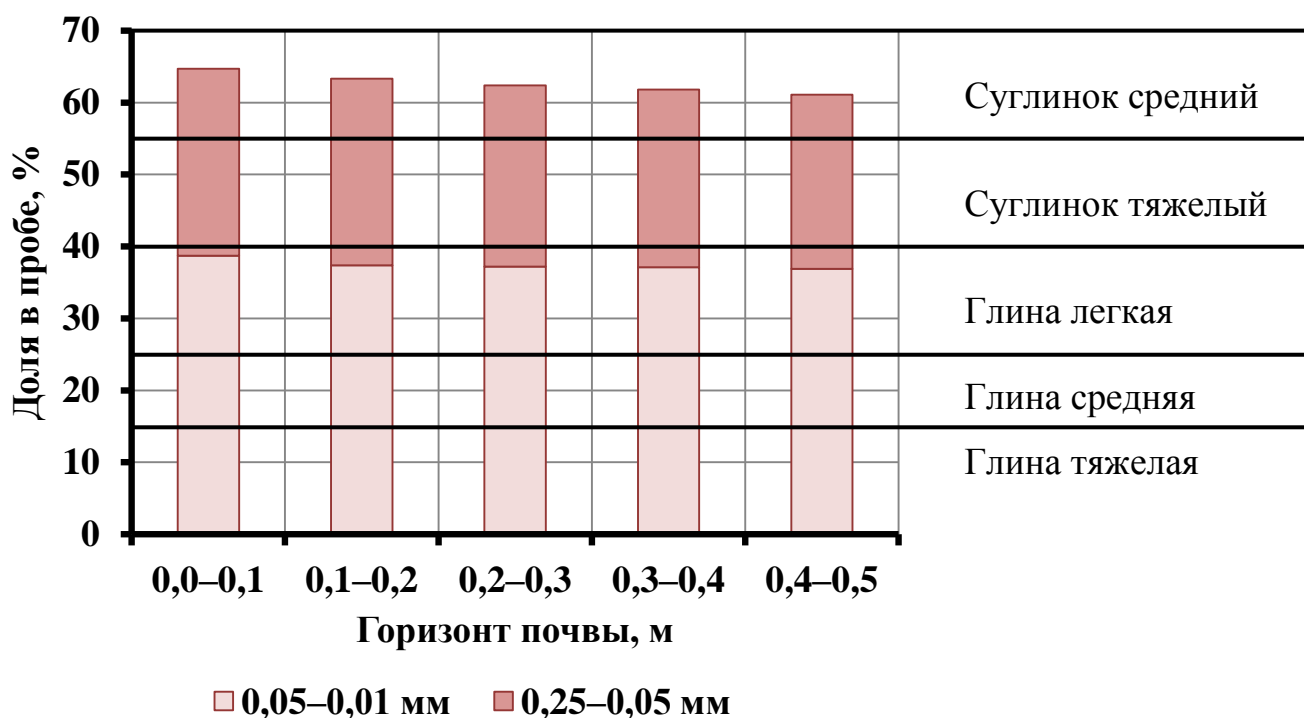


Рисунок 2.3 – Диаграмма распределения частиц почвы более 0,01 мм

Общая пористость почвы в пахотном слое достигает 50,4-51,8 %, а максимальное содержание влаги, удерживаемой почвой без интенсивной инфильтрации в нижние горизонты, не превышает 22,1-22,5 % от веса в абсолютно-сухом состоянии. В подпахотных горизонтах значения максимального содержания почвенной влаги, характеризующие наименьшую влагоемкость почвы, снижались, в среднем,

на 0,4-0,6 %. Этот слабый тренд обусловлен, преимущественно, снижением содержания органического вещества в подпахотных горизонтах почвы при относительно небольшой вариации гранулометрического состава.

Таблица 2.1 - Результаты анализа водно-физических свойств почвы

Горизонт	Плотность твердой фазы почвы, т/м <sup>3</sup>	Плотность сложения почвы, т/м <sup>3</sup>	Общая пористость, %	Содержание влаги в состоянии наименьшей влагоемкости, в весовых процентах	Максимальная гигроскопичность, в весовых процентах
0-0,1 м (I)	2,51	1,21	51,8	22,5	8,3
0,1-0,2 м (II)	2,50	1,23	50,8	22,3	8,1
0,2-0,3 м (III)	2,52	1,25	50,4	22,1	8,0
0,3-0,4 м (IV)	2,52	1,27	49,6	21,9	8,0
0,4-0,5 м (V)	2,54	1,29	49,2	21,7	7,9

Максимальная гигроскопичность почвенных образцов, отобранных по горизонтам до 0,5 м, изменялась в пределах 7,9-8,3 % от веса абсолютно-сухой почвы. Это значит, что теоретические значения влажности устойчивого завядания растений для данного типа почв близки к 55 % от наименьшей влагоемкости.

Содержание гумуса в пахотном слое почвы не превышает 1,6-1,8 % (таблица 2.2), а с глубины 0,3 м – быстро снижается до 0,6-0,9 %. Гидролизуемых форм азота больше всего, 21,3-27,9 мг/кг, также находится в пахотных горизонтах. Однако и по этим значениям почвы опытного участка можно отнести к группировке почв с низким содержанием доступных форм азота [145].

Содержание подвижных форм фосфатов в пахотном слое почвы достигает 24,1-24,7 мг/кг почвы. Содержание обменного калия в почвах опытного участка высокое и достигает 270-241 мг/кг почвы. Это типично для светло-каштановых почв, получивших распространение в регионе проведения исследований.

Почвенная среда на опытном участке близка к нейтральной; рН водной вытяжки находится в пределах 6,6-7,1, что благоприятно для возделывания боль-



шинства сельскохозяйственных культур. Емкость поглощения почвы в пределах пахотного горизонта не превышает 25,9-26,2 мг-экв.

Таблица 2.2 - Результаты анализа агрохимических свойств почвы

Горизонт	Со- держа- ние гумуса, %	Содержание гидролизую- емого азота, мг/кг веса почвы в аб- солютно су- хом состоя- нии	Содержание доступных форм		рН вод- ной вы- тяжки	Емкость поглоще- ния поч- вы по го- ризон- там, мг- экв.
			фосфора, мг/кг ве- са почвы в абсо- лютно сухом состоя- нии	калия, мг/кг ве- са почвы в абсо- лютно сухом состоя- нии		
0-0,1 м (I)	1,8	27,9	24,3	341	6,6	26,2
0,1-0,2 м (II)	1,8	27,7	24,7	323	6,8	26,2
0,2-0,3 м (III)	1,6	21,3	24,1	329	6,7	25,9
0,3-0,4 м (IV)	0,9	11,8	21,2	294	7	24,7
0,4-0,5 м (V)	0,6	6,7	17,3	270	7,1	24,3

Таким образом, по совокупности показателей, характеризующих гранулометрический состав, водно-физические и агрохимические свойства, почвенный покров опытного участка типичен для зоны распространения светло-каштановых почв Нижневолжского региона.

### 2.2.2 Краткая характеристика климата региона с оценкой агрометеорологических условий в годы проведения исследований

Территория региона исследований относится к южным регионам Российской Федерации и располагается в нижнем течении р. Волга. С точки зрения административного устройства территория региона Нижней Волги включает Астраханскую и Волгоградскую область и республику Калмыкия, а общая площадь территории составляет свыше 23 млн. га. Более 80 % рассматриваемой территории региона приходится на сельскохозяйственные угодья, однако сельскохозяйственное производство находится в сложных агроклиматических условиях в силу резкой континентальности климата и острого дефицита естественной влагообеспеченно-

сти [55]. Наибольшей естественной влагообеспеченностью (250-400 мм атмосферных осадков за теплый период года) в границах региона характеризуются северо-западные районы Волгоградской области в зоне распространения черноземных почв [1]. В зоне распространения светло-каштановых почв Волгоградской области количество атмосферных осадков за теплый период года снижается до 175 мм, в республике Калмыкия – не превышает 100-150 мм, а в Астраханской области изменяется от 160 до 80 мм. Возделывание картофеля без орошения в таких условиях невозможно.

С другой стороны, обеспеченность региона теплом достаточно высока. Сумма среднесуточных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  за теплый период года достигает 2750-3600  $^{\circ}\text{C}$ , что обеспечивает возможность возделывания даже самых теплолюбивых однолетних культур [55]. Однако температурный максимум, который для рассматриваемой территории достигает 39-45  $^{\circ}\text{C}$ , отрицательно сказывается на продуктивности картофеля.

Результаты агрометеорологических наблюдений в годы проведения исследования приведены в таблице 2.3, а их анализ в многолетнем разрезе – на рисунке 2.4.

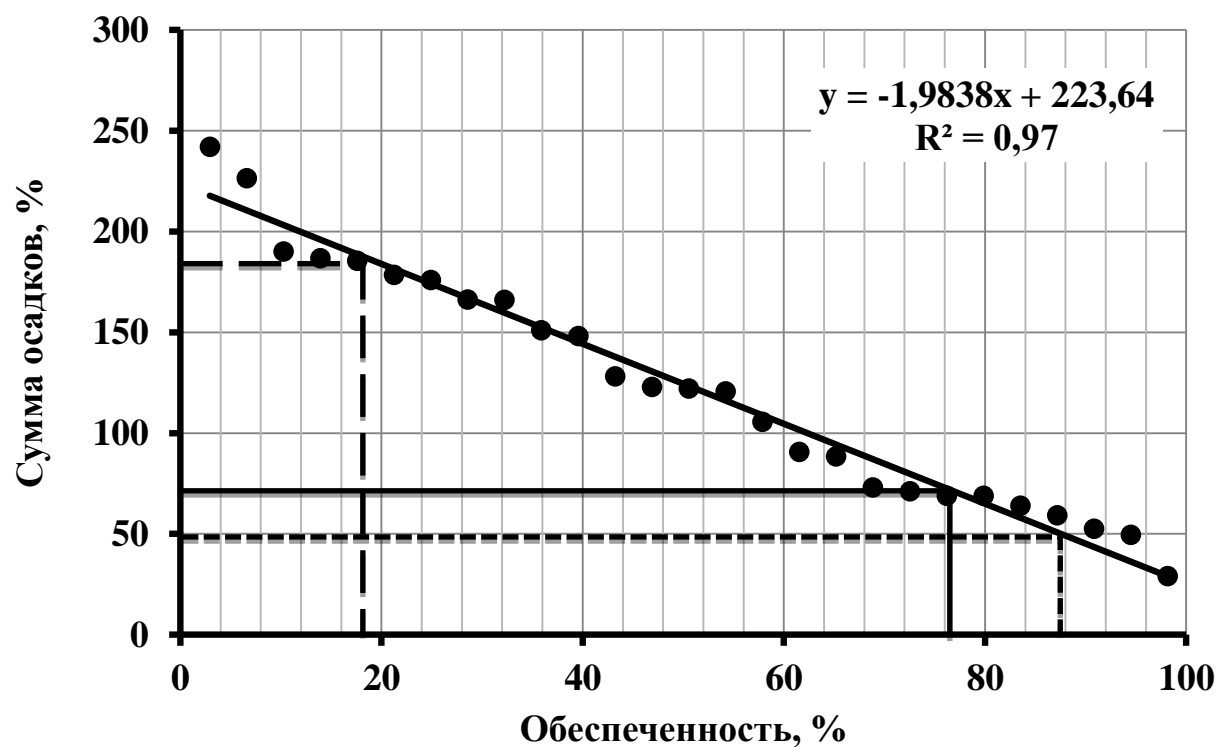
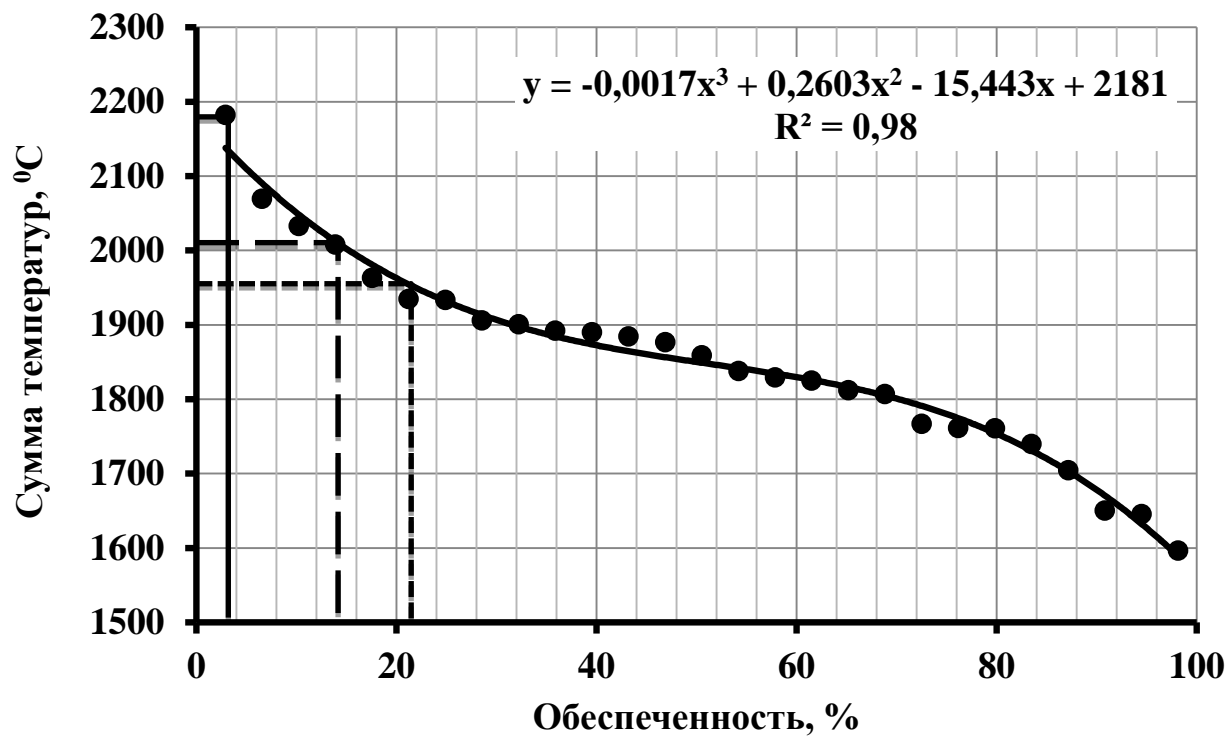
Поступление тепла в 2012 году началось рано, уже в первой декаде апреля среднесуточная температура воздуха составляла 10,6  $^{\circ}\text{C}$ , а во второй декаде - достигла 16,0  $^{\circ}\text{C}$ . За весь апрель было накоплено 442,0  $^{\circ}\text{C}$  среднесуточных температур воздуха, что почти вдвое больше климатической нормы. Средняя месячная температура апреля в 2013 году составила 10,2  $^{\circ}\text{C}$ , что на 2,7  $^{\circ}\text{C}$  больше среднемноголетнего. Даже в 2014 году с самой холодной за весь период исследований весной, средняя месячная температура воздуха составила 8,6  $^{\circ}\text{C}$ , что на 1,1  $^{\circ}\text{C}$  больше среднемноголетнего уровня. В тоже время относительная влажность воздуха в апреле во все годы исследований была ниже климатической нормы и изменялась от 58,0 % в 2014 году до 62,5 % в 2012 год. По поступлению атмосферных осадков в этот период годы исследований существенно различались. Например, в 2012 году за апрель на опытное поле поступило не более 5,5 мм атмосферных осадков, что в четыре раза меньше среднемноголетнего объема. В 2013 году,

Таблица 2.3 - Агрометеорологическая характеристика периода проведения полевого эксперимента

Ме- сяц	Декада	Год исследований								
		2012			2013			2014		
		Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влаж- ность воздуха, %	Атмо- сферные осадки, мм	Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влаж- ность воздуха, %	Атмо- сферные осадки, мм	Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влаж- ность воздуха, %	Атмо- сферные осадки, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ап- рель	1	10,6	68,5	4,7	9,1	69,8	6,6	3,6	67,0	12,0
	2	16,0	65,2	0,0	9,3	46,8	1,1	9,9	57,6	2,5
	3	17,5	53,7	0,8	12,3	58,5	33,0	12,3	49,4	0,2
Сумма		442,0		5,5	306,9		40,7	257,9		14,7
Среднее		14,7	62,5		10,2	58,4		8,6	58,0	
Среднемного- летнее		7,5	72,2	20,0	7,5	72,2	20,0	7,5	72,2	20,0
Май	1	18,7	33,8	0,3	18,2	44,1	2,0	14,0	69,8	24,5
	2	22,1	31,3	0,0	22,0	31,8	0,3	22,8	44,7	0,0
	3	19,4	52,5	12,7	21,7	49,7	22,9	22,6	38,9	0,0
Сумма		620,6		13,0	640,2		25,2	617,0		24,5
Среднее		20,0	39,2		20,7	41,9		19,9	51,1	
Среднемного- летнее		17,0	53,0	27,0	17,0	53,0	27,0	17,0	53,0	27,0

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Июнь	1	22,6	45,6	3,0	20,0	53,2	44,2	24,1	28,9	1,8
	2	27,0	37,5	11,2	24,3	42,3	69,0	19,1	50,8	6,9
	3	24,1	41,1	3,4	22,2	57,8	0	19,8	49,5	12,0
Сумма		737,8		17,6	665,4		113,2	629,1		20,7
Среднее		24,6	41,4		22,2	51,1		21,0	43,1	
Среднемного- летнее		21,4	50,0	40,0	21,4	50,0	40,0	21,4	50,0	40,0
Июль	1	24,4	45,0	24,2	24,9	39,4	0,0	23,8	45,2	1,6
	2	24,4	52,2	8,4	23,7	46,0	13,0	25,6	27,6	0,0
	3	26,4	34,3	0,0	20,4	58,5	15,2	23,7	32,9	0,8
Сумма		778,1		32,6	710,1		28,2	755,1		2,4
Среднее		25,1	43,8		22,9	48,0		24,4	35,2	
Среднемного- летнее		24,2	53,0	33,0	24,2	53,0	33,0	24,2	53,0	33,0



————— 2012 г.      - - - - 2013 г.      - - - - - 2014 г.

Рисунок 2.4 - Результаты оценки обеспеченности метеоресурсов в годы проведения исследований (для периода с 11.04 по 21.07)

напротив, за апрель поступило 40,7 мм осадков, что вдвое больше климатической нормы. В 2014 году за апрель поступило 14,7 мм осадков, что лишь немного меньше среднемноголетнего уровня.

В целом, агрометеорологические условия в ранневесенний период складывались благоприятно для посадки картофеля. В 2012 году погодные условия позволили приступить к посадке картофеля в самом начале второй декады апреля. В 2013 и 2014 годах, с более затяжной и холодной весной, посадка картофеля проводилась в конце второй- начале третьей декады апреля.

Поступление тепла в мае во все годы исследований продолжало оставаться выше климатической нормы на 2,9-3,7 °С. В 2012 году в этот период существенно снижалась относительная влажность воздуха, в отдельные дни – ниже 30 %. Для картофеля это явление отрицательно сказывается на динамике развития. Сумма атмосферных осадков за май в 2012 году составила 13,0 мм, что вдвое ниже среднемноголетнего уровня. В 2013 и 2014 годах погодные условия мая складывались более благоприятно для картофеля: поступление осадков увеличилось почти до среднемноголетней нормы, а относительная влажность воздуха выросла до 41,9-51,1 %.

Июнь в 2012 и 2013 годах был более обеспечен теплом в сравнении с климатической нормой, а в 2014 году – практически сравнялся с ней. Относительная влажность воздуха изменялась от 41,4 % в 2012 году до 51,1 % в 2013 году, что ниже биологически обоснованной нормы. Поступление осадков в этом месяце в 2012 году было наименьшим, - 17,6 мм (при климатической норме 40,0 мм), в 2013 году – почти втрое выше климатической нормы (113,2 мм), а в 2014 году – не превышало 20,7 мм.

В июле климатическая норма по теплу была немного превышена только в 2012 году (на 0,9 °С). В 2013 году среднесуточная температура июля составила 22,9 °С, что на 1,3 °С меньше среднемноголетнего уровня. Для картофеля, учитывая, что он плохо переносит жару, это следует считать благоприятным явлением.

В сумме за вегетационный период все годы проведения полевого эксперимента оказались более обеспечены теплом, чем в среднемноголетнем разрезе. Обес-

печенность накопления таких сумм среднесуточных температур воздуха в регионе обеспечивается с вероятностью не более 21,6 %. По поступлению атмосферных осадков ситуация сложилась менее однозначно. В 2012 и 2014 годах осадков поступило существенно ниже климатической нормы, обеспеченность этого явления в регионе составляет 76-88 %. В 2013 году за период вегетации картофеля поступило 185,5 мм осадков, что характеризует его как очень влажный. Обеспеченность такого явления в регионе исследований – не более 18,5 %. В целом, сложившиеся погодные условия, включая разброс значений показателей по годам исследований, типичны для региона исследований.

### **2.3 Агротехника картофеля в опытных посадках**

Агротехника картофеля, применяемая при проведении полевого эксперимента, разрабатывалась на основе зональных агротехнологических комплексов для капельного орошения и орошения дождевальными техникой. При разработке агротехники учитывались биологические особенности культуры, преимущества зональных систем земледелия и состав сложившейся в регионе системы машин для возделывания картофеля.

Система подготовки почвы в опытах включала комплекс мероприятий по основной обработке почвы и весенней, в том числе, предпосадочной подготовке. Лушение стерни проводилось сразу после уборки предшествующей культуры, - лука репчатого, на глубину 0,1 м. Это позволяет закрыть почвенную влагу, предотвратить чрезмерное иссушение почвы и исключает необходимость проведения технологического полива перед вспашкой. Кроме того, зяблевая вспашка после лушения позволяет создать мелкокомковатую, агротехнически ценную структуру почвы.

Вспашка зяби проводилась навесным плугом ПН-4-35 в агрегате с трактором ДТ-75 на глубину гумусового горизонта (0,27 м). При назначении сроков проведения зяблевой вспашки ориентировались на появление массовых всходов сорняков после лушения стерни предшественника.

Весной подготовку почвы начинали с проведения покровного боронования скоростными зубowymi боронами БЗСС-1,0 в агрегате со сцепкой и трактором ДТ-75. Выполнение последующих операций согласовывалось с метеорологическими условиями в годы проведения исследований.

Фрезерование почвы проводили одновременно с поделкой гребневого профиля поверхности почвы и внесением комплекса минеральных удобрений, включая азот, фосфор и калий. Весь комплекс мероприятий проводили агрегатом RSF-2000 + трактор МТЗ-82 непосредственно перед посадкой картофеля. Минимизация разрыва сроков между фрезерной обработкой почвы и посадкой необходима, что сорняки в последующем не обгоняли в своем развитии культурные растения. Это, в свою очередь, позволяет снизить применение гербицидов на участке.

Если продолжительность периода от проведения боронования до начала посадки картофеля достаточно велика и сопровождается развитием сорной растительности, - необходимо проведение промежуточных сплошных культиваций на глубину 0,10-0,12 м. На опытном участке такие условия сложились в 2014 году, когда и была проведена сплошная культивация агрегатом, включающим два культиватора КПС-4, сцепку и трактор ДТ-75.

На участке, где в соответствии с программой эксперимента посадка картофеля проводилась в гребень, - поделка гребней осуществлялась через 0,7 м. На участке, где в соответствии с программой эксперимента посадка картофеля проводилась сдвоенный рядок, - нарезали по три гребня через 0,5 м, с последующей раскладкой посадочного материала и формированием сдвоенного рядка (рисунок 2.5). Все операции по посадке картофеля могут быть механизированы и выполняться агрегатом МТЗ-80 (82) + картофелесажалка JJ BROCH C2 (C2X2).

Сроки посадки картофеля в опытах определялись погодными условиями и динамикой прогревания активного слоя почвы. При достижении температуры почвы в слое 0,1-0,15 м не менее 10-12 °С приступали к посадке. Густота растений картофеля на опытном участке определялась способом посадки. В рядке клубни картофеля раскладывали через 0,25 м в соответствии с рекомендациями для раннего картофеля [74]. Подготовка посадочного материала заключалась в проращивании клубней с



формированием ростков не более 0,5-1,0 см. Проращивание проводили на открытых площадках (в пленочных теплицах) в течение 12-15 суток (рисунок 2.6).



Рисунок 2.5 - Раскладка посадочного материала при формировании сдвоенного рядка по формуле  $0,5 \times 0,9$



Рисунок 2.6 - Проращивание посадочного материала в пленочных теплицах

Поливы в опытах проводили при снижении влажности активного слоя почвы до 70 % НВ поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га (от посадки до начала фазы бутонизации) и 80 % НВ – поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/га (весь оставшийся период вегетации). Мощность активного слоя почвы была принята равной 0,5 м [6, 19, 139]. За 1,5 недели до уборки поливы картофеля прекращали, что способствует созреванию клубней и формированию более качественной товарной продукции. Для проведения поливов использовали стационарную систему дождевания на основе дождевальных аппаратов спринклерного типа. Расстановка дождевальных аппаратов осуществлялась через 12 м. Производительность дождевальных аппаратов, используемых для полива опытных посадок, - 500 л/час, что при принятой схеме расстановки дождевателей обеспечивает за час подачу около 35 м<sup>3</sup>/га. Дождевание низкоинтенсивное, что позволяет избежать формирования луж и поверхностного стока. Раскладку поливных трубопроводов осуществляли после посадки картофеля.

Минеральные удобрения вносили дифференцированно, при формировании гребней и после массовых всходов с подкормками. Общая доза минеральных удобрений, N<sub>220</sub>P<sub>210</sub>K<sub>270</sub>, рассчитывалась на формирование урожайности клубней на уровне 50 т/га. При подготовке участка к посадке клубней в гребень закладывали 400 кг/га азофоски с содержанием азота, фосфора и калия соответственно 13, 19 и 19 %, 200 кг/га двойного суперфосфата с содержанием 43 % фосфора и 200 кг/га калимага с содержанием 47 % калия. По отношению к расчетной дозе удобрений в гребень было заложено 23 % азота, 77 % фосфора и 63 % калия. Оставшуюся часть удобрений вносили с поливной водой в форме аммиачной селитры, калийной селитры и двойного суперфосфата.

Система защиты растений помимо агротехнических приемов включала комплекс агрохимических мероприятий. Для подавления однолетних двудольных и злаковой сорной растительности по вегетирующим посадкам картофеля применяли баковую смесь гербицидов Титус, 25 % и Тренд, 90 % нормой соответственно 0,05-и 0,2 кг/га. Опрыскивание проводили по мере необходимости при высоте растений картофеля не более 0,2 м. Для борьбы с вредителями использовали ин-

сектицид Актара, 25 %, который нормой 0,08 л/га вносили в почву при формировании гребней и такой же нормой дважды опрыскивали посадки в период активной вегетации. Позднее, чем за 20 дней до уборки, обработки картофеля инсектицидами не проводили. Клубни перед посадкой обрабатывали препаратом Фитоспорин-М нормой 0,5 л/т, что позволило избежать распространения болезней на опытных делянках.

### **3. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ ПРИ СПРИНКЛЕРНОМ ОРОШЕНИИ КАРТОФЕЛЯ**

#### **3.1 Фактический поливной режим раннего картофеля с использованием систем спринклерного орошения**

Фактический поливной режим картофеля в опытах был направлен на поддержание водного режима активного слоя почвы в заданном диапазоне в строгом соответствии с программой эксперимента. Мощность расчетного слоя почвы, для которого поливами должно обеспечиваться регулирование водного режима, была принята равной 0,5 м [6, 19, 139]. Порог предполивной влажности почвы в соответствии с программой эксперимента до вступления в фазу бутонизации не менее 10 % растений картофеля поддерживали на уровне 70 % НВ, а в последующие периоды, до начала периода отмирания ботвы, - на уровне 80 % НВ. Диапазон поддержания водного режима почвы в первый из указанных периодов составил, соответственно, 70-100 % НВ, а во второй – 80-100 % НВ. Поливы назначали по данным физических измерений на постоянных водобалансовых площадках, организованных в соответствии с планом исследований.

Система спринклерного орошения на опытном участке была смонтирована с дополнительной установкой контрольно-запорной арматуры, позволяющей проводить индивидуальные поливы для каждого варианта опыта. Организация контроля влажности почвы на каждой делянке опытного участка в совокупности с особенностями смонтированной системы позволила формировать индивидуальный режим орошения на каждом отдельном варианте.

Опыты подтвердили, что потребность в орошении картофеля в регионе существует всегда, но объем оросительных мелиораций, необходимый для поддержания оптимального водного режима почвы, существенно зависит от складывающихся погодных условий.

В таблицах 3.1-3.3 приведены сведения о числе проведенных поливов для всего, трехлетнего периода исследований, дифференцированно, по каждой фазе

Таблица 3.1 - Фактическое число поливов картофеля при спринклерном орошении, 2012 г.

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития					Оросительная норма, м <sup>3</sup> га
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Посадка – начало отмирания ботвы	
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	1	2	1	4	8	2660
	В2 (в междурядье)	1	2	1	4	8	2660
	В3 (в рядке)	1	2	1	4	8	2660
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	1	2	1	4	8	2660
	В2 (в междурядье)	1	2	1	4	8	2660
	В3 (в рядке)	1	2	1	4	8	2660
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	1	2	1	4	8	2660
	В2 (в междурядье)	1	2	1	3	7	2380
	В3 (в рядке)	1	2	1	5	9	2940
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	1	2	1	4	8	2660
	В2 (в междурядье)	1	2	1	3	7	2380
	В3 (в рядке)	1	2	1	5	9	2940

Таблица 3.2 - Фактическое число поливов картофеля при спринклерном орошении, 2013 г.

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития					Оросительная норма, м <sup>3</sup> га
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Посадка – начало отмирания ботвы	
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0	1	1	2	4	1260
	В2 (в междурядье)	0	1	1	2	4	1260
	В3 (в рядке)	0	1	1	2	4	1260
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0	1	1	2	4	1260
	В2 (в междурядье)	0	1	1	2	4	1260
	В3 (в рядке)	0	1	1	2	4	1260
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0	1	1	2	4	1260
	В2 (в междурядье)	0	1	1	1	3	980
	В3 (в рядке)	0	1	1	3	5	1540
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0	1	1	2	4	1260
	В2 (в междурядье)	0	1	1	1	3	980
	В3 (в рядке)	0	1	1	3	5	1540

Таблица 3.3 - Фактическое число поливов картофеля при спринклерном орошении, 2014 г.

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития					Оросительная норма, м <sup>3</sup> га
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Посадка – начало отмирания ботвы	
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0	2	2	4	8	2520
	В2 (в междурядье)	0	2	2	4	8	2520
	В3 (в рядке)	0	2	2	4	8	2520
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0	2	2	4	8	2520
	В2 (в междурядье)	0	2	2	4	8	2520
	В3 (в рядке)	0	2	2	4	8	2520
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0	2	2	4	8	2520
	В2 (в междурядье)	0	2	2	3	7	2240
	В3 (в рядке)	0	2	2	5	9	2800
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0	2	2	4	8	2520
	В2 (в междурядье)	0	2	2	3	7	2240
	В3 (в рядке)	0	2	2	5	9	2800



роста и развития. Из приведенных данных видно, что даже в рамках трехлетнего периода исследований число поливов, необходимых для поддержания заданного уровня предполивной влажности почвы, изменялось по годам от 3 до 9 или в три раза. Потребность в оросительных мелиорациях тесно связана с естественной влагообеспеченностью территории в рассматриваемые сроки. Например, в 2013 году, при поступлении за вегетационный период картофеля 171-182 мм осадков, для поддержания порога предполивной влажности почвы на уровне 70-80 % НВ потребовалось 3-5 поливов с оросительной нормой 980-1540 м<sup>3</sup>/га (таблица 3.2). В 2012 и 2014 гг. поступление атмосферных осадков за вегетационный период картофеля ограничилось 31-51 мм; соответственно для поддержания заданного порога предполивной влажности почвы потребовалось проведение до 9 поливов с оросительной нормой 2240-2940 м<sup>3</sup>/га.

В период от посадки до появления всходов картофеля потребность в проведении полива возникала только раз за три года, в 2012 году. Последнее было связано с особыми условиями весеннего периода, острым дефицитом естественной влагообеспеченности и быстрым нарастанием среднесуточных температур воздуха в сочетании с сильными и продолжительными ветрами. Как показал опыт, обычно всходы картофеля можно получить без проведения поливов. Еще от 1 до 2 поливов по 420 м<sup>3</sup>/га потребовалось провести для поддержания предполивного порога влажности почвы на уровне 70 % НВ в период от всходов до начала фазы бутонизации растений. Это достаточно продолжительный период, длительностью от 20 до 25 суток, поэтому 1 полива для поддержания заданного порога предполивной влажности почвы было достаточно только в 2013 году и связано с поступлением эффективного объема атмосферных осадков. Если осадков в этот период не наблюдается, как это было в опытных посадках 2012 и 2014 годов, то обычной практикой является проведение не менее 2 вегетационных поливов.

Продолжительность периода от начала фазы бутонизации до полного вступления посадок в фазу массового цветения у картофеля не превышала 9-10 суток, однако порог предполивной влажности почвы в это время требовалось поддерживать не ниже уровня 80 % НВ. Вероятно поэтому, в опытных посадках картофеля



для поддержания заданного порога предполивной влажности почвы в этот период требовалось проводить, как минимум один полив нормой  $280 \text{ м}^3/\text{га}$ . В 2014 году в связи со сложившимися погодными условиями за этот период потребовалось проведение 2 вегетационных поливов по  $280 \text{ м}^3/\text{га}$ . Различий в числе поливов по вариантам опыта за эти периоды не отмечено.

Одним из самых продолжительных, 22-32 суток, и самых ответственных периодов в формировании урожая раннего картофеля является период от начала массового цветения посадок до начала отмирания ботвы, совпадающего с началом созревания клубней. В течение всего этого периода порог предполивной влажности почвы поддерживали не ниже 80 % НВ, для чего потребовалось проведение 3-5 поливов по  $280 \text{ м}^3/\text{га}$  в 2012 году, 1-3 поливов в 2013 году и 3-5 поливов в 2014 году. Различия по числу проведенных для поддержания заданного порога предполивной влажности почвы в каждый год проведения исследований наблюдались по вариантам с различным положением зоны контроля предполивной влажности на участках, где картофель сажали в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$  или  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$ . На участках, где картофель высаживали в гребень, через  $0,7 \text{ м}$  или в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,7 \text{ м}$  различий в числе проведенных поливов по вариантам с различной организацией зон контроля предполивной влажности не было, а для поддержания заданного предполивного уровня проводилось 4 полива в 2012 и 2014 годах и 2 полива – в 2013 году.

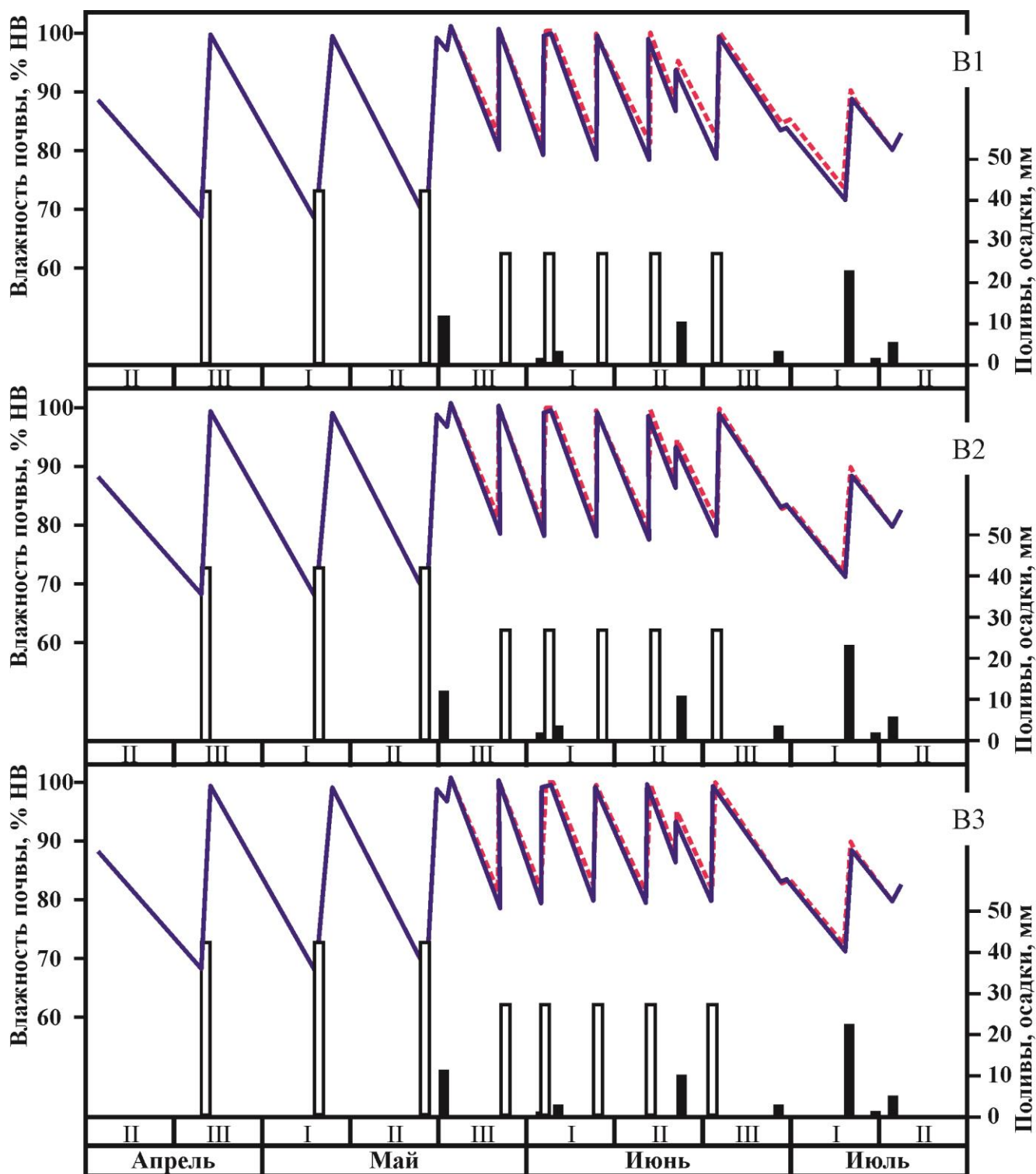
Таким образом, по вариантам опыта фактический режим проведения поливов изменялся существенно меньше, чем по годам исследований, а для некоторых групп вариантов сохранялся практически без изменений. На участках, где картофель сажали в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$  или  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$ , наибольшее число поливов, от 5 во влажный 2013 год до 9 поливов в засушливые 2012 и 2014 годы, было проведено на участках, где контроль влажности почвы осуществляли в зоне размещения растений. При использовании смешанного способа контроля влажности почвы на участках, где водобалансовые площадки были организованы как в рядке (зона размещения растений), так и в междурядье, общее число поливов в годы проведения исследований было таким же, как на участках, где карто-

фель высаживали в гребень, через 0,7 м или в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м. При организации контроля влажности почвы в междурядье за вегетационный период картофеля было проведено наименьшее число поливов, которое изменялось от 3 во влажный 2013 год до 7 – в засушливые 2012 и 2014 годы.

### **3.2 Особенности формирования водного режима почвы при разных способах контроля предполивной влажности**

Для всесторонней оценки водного режима почвы в опытных посадках картофеля был организован дифференцированный мониторинг содержания почвенной влаги в зоне размещения растений и в междурядье. Полученные данные были усреднены для расчетного слоя почвы 0,5 м и по повторениям, что позволило получить исходный материал для построения графиков динамики водного режима почвы, приведенных на рисунках 3.1-3.4. Динамика влажности 0,5-метрового слоя почвы на рисунках приведена дифференцированно для зоны размещения растений картофеля (в рядке) и для междурядья (прерывистая линия). Динамика водного режима почвы для всех вариантов опыта приведена на примере 2012 года с типичными для региона, засушливыми погодными условиями.

Запасы почвенной влаги на дату посадки картофеля в 2012 году составили 88,7 % НВ, чему способствовало постепенное таяние снега, практически без поверхностного стока, и обильные атмосферные осадки, поступившие в последней декаде марта. Однако после посадки картофеля установилась крайне сухая погода, с низкой относительной влажностью воздуха и суховеями. Атмосферных осадков не было вплоть до начала фазы бутонизации картофеля, что также повлияло на формирование водного режима почвы в опытных посадках. Воздушная засуха в сочетании с суховеями способствовали быстрому иссушению почвенного покрова, в результате чего содержание влаги в почве до предполивного уровня (70 % НВ) в 2012 году снизилось еще до появления массовых всходов. Динамика снижения почвенных влагозапасов в рядке и междурядье в этот период оставалась одинаковой.







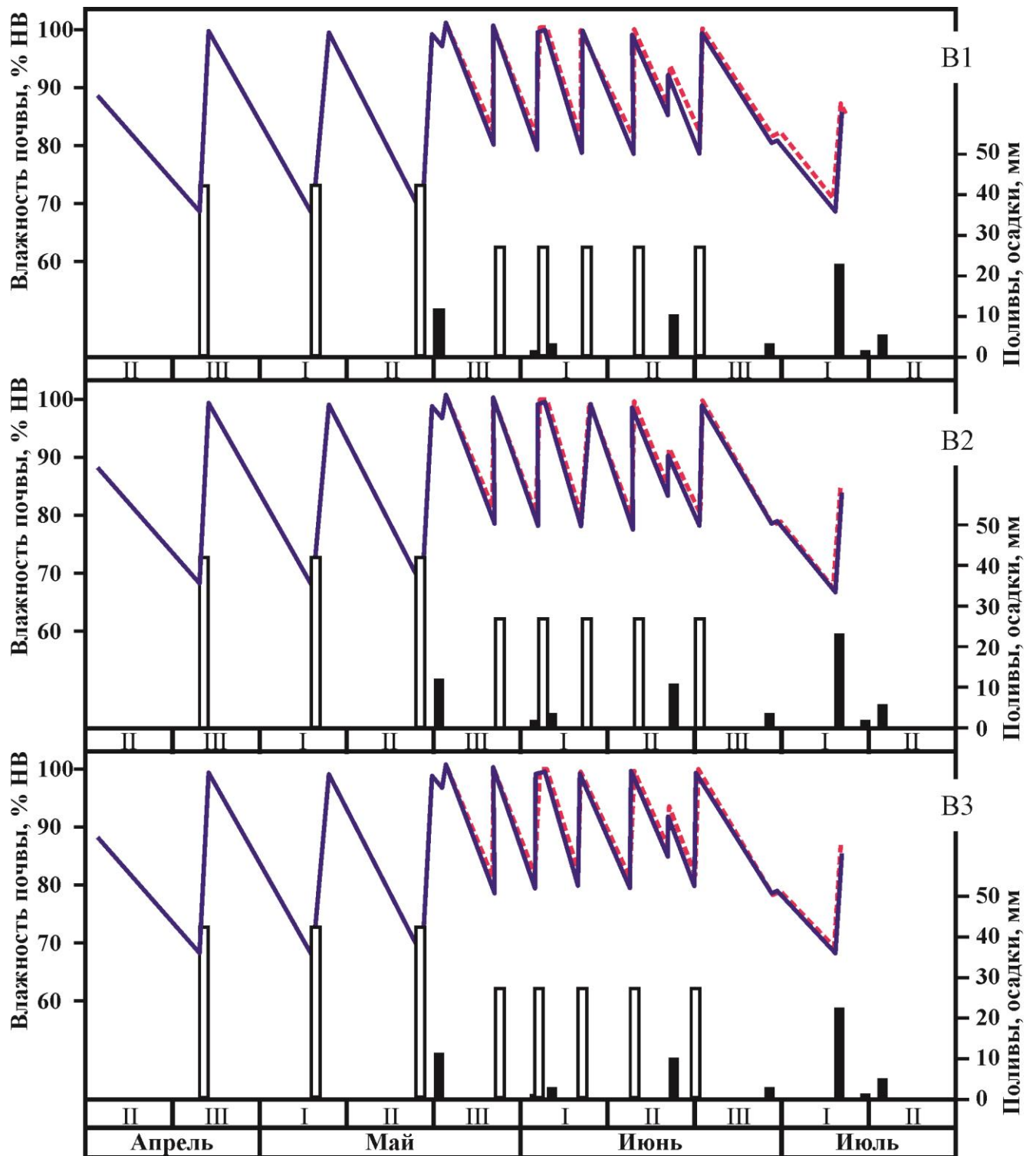
  – осадки, поливы;  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в рядке;  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в междурядье

Рисунок 3.1 – Формирование водного режима почвы при спринклерном орошении картофеля в 2012 году (способ посадки – в гребень через 0,7 м)






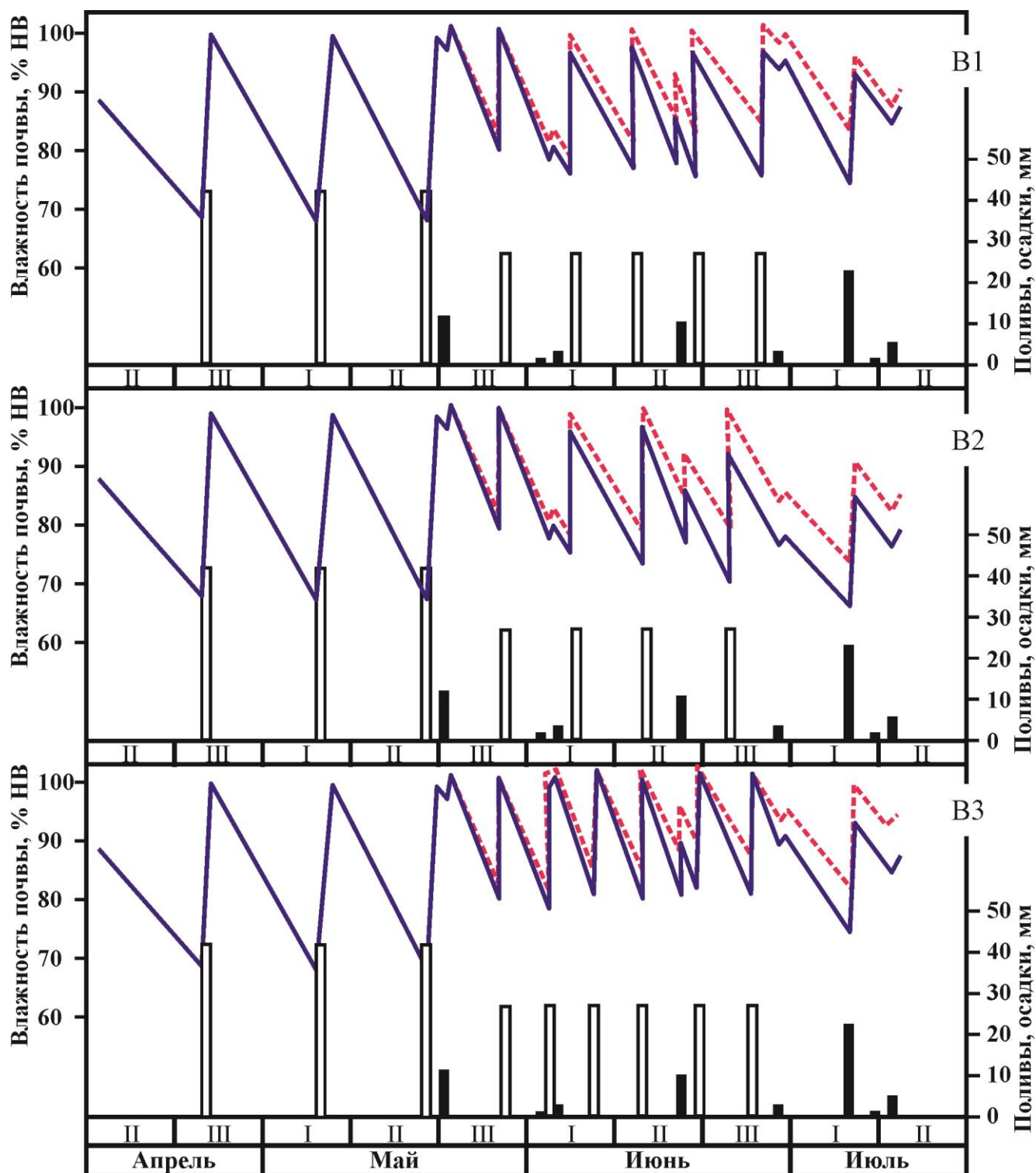
 – осадки, поливы;  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в рядке;  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в междурядье

Рисунок 3.2 – Формирование водного режима почвы при спринклерном орошении картофеля в 2012 году (способ посадки – в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м)







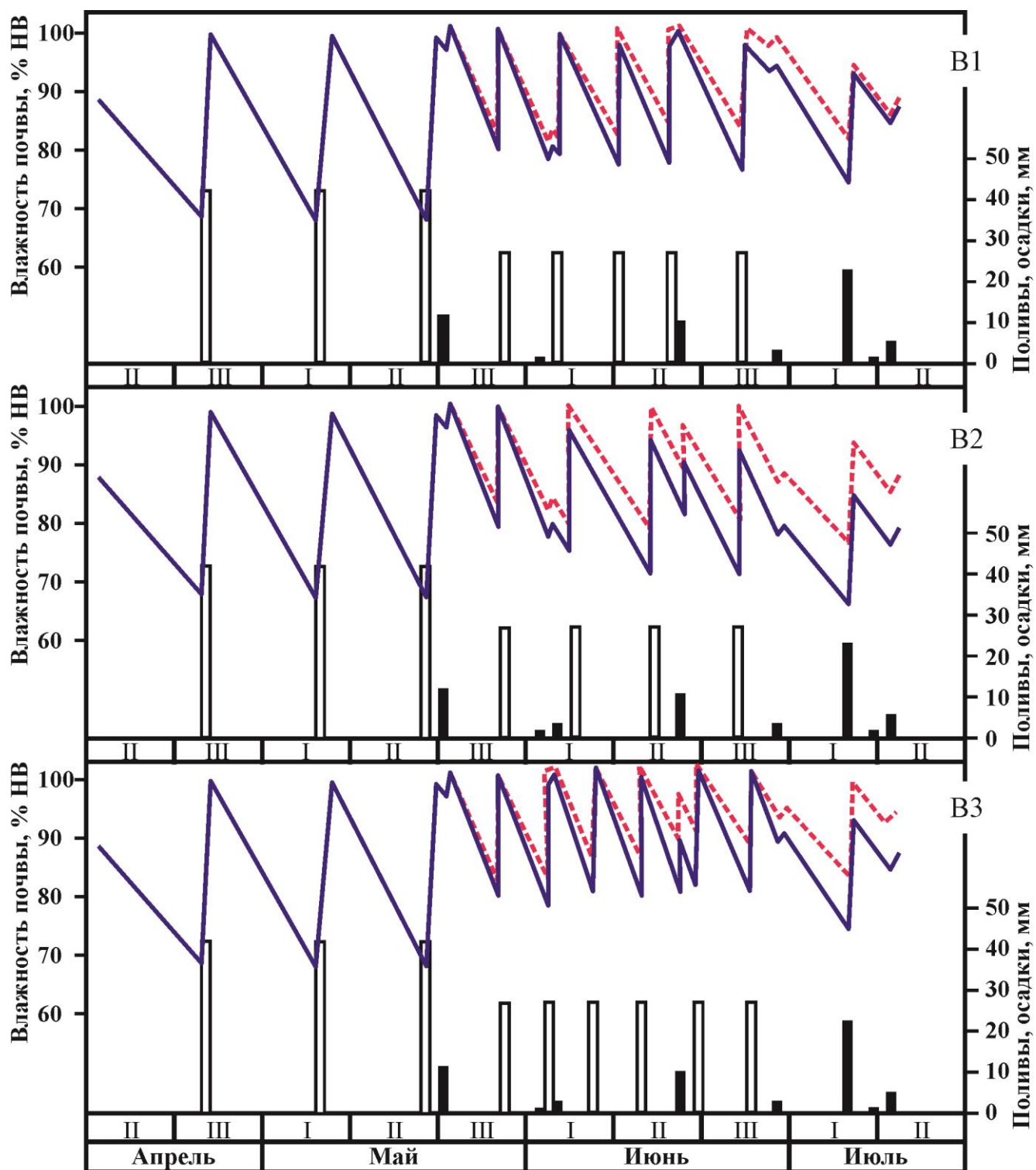
  – осадки, поливы;  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в рядке;  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в междурядье

Рисунок 3.3 – Формирование водного режима почвы при спринклерном орошении картофеля в 2012 году (способ посадки – в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м)



– осадки, поливы;  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в рядке;  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в междурядье

Рисунок 3.4 – Формирование водного режима почвы при спринклерном орошении картофеля в 2012 году (способ посадки – в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м)



Динамика иссушения почвы в период «всходы – начало бутонизации» также зависела только от энергетических ресурсов атмосферы, что определило постепенное снижение содержания почвенной влаги в течение межполивного периода. Второе снижение запасов почвенной влаги до предполивного уровня наблюдалось через 13 суток после проведения первого полива, а еще через 11 суток влажность почвы до 70 % НВ снизилась в третий раз.

Таким образом, до фазы бутонизации содержание почвенной влаги три раза снижалось до предполивного уровня, причем различий в динамике по данным мониторинга влажности в рядке и в междурядье не наблюдалось.

Такая же, без существенных различий, динамика почвенных влагозапасов в зоне размещения растений и междурядье сохранялась и в период от начала фазы бутонизации картофеля до полного вступления в фазу цветения. Порог предполивной влажности почвы в этот период в соответствии с программой исследований был установлен на уровне 80 % НВ. Содержание почвенных влагозапасов до предполивного уровня в этот период снижалось только раз, чему способствовали и атмосферные осадки, поступление которых в объеме 12 мм было отмечено в начале третьей декады мая. Следует признать, что осадки поступили через сутки после проведения вегетационного полива, а поэтому эффективно была использована только их часть, а оставшаяся ушла на подпитку нижележащих горизонтов.

В июне и июле 2012 года число дождливых дней увеличилось, однако осадки поступали, преимущественно в небольшом объеме и оказали слабое влияние на общую динамику формирования водного режима почвы. На июнь в 2012 году пришлось прохождение одного из самых продолжительных и самых ответственных периодов развития картофеля, - «цветение – начало отмирания ботвы». В этот период формируется до 80 % массы всего урожая клубней картофеля и в этот период культура предъявляет особенно жесткие требования к условиям водообеспечения. В соответствии с программой исследований порог предполивной влажности почвы в период «цветение – начало отмирания ботвы» необходимо было поддерживать не ниже уровня 80 % НВ.

На участках вариантов, где картофель высаживали в гребень через 0,7 м или в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м содержание почвенной влаги за период «цветение – начало отмирания ботвы» снижалось до предполивного уровня 4 раза. Только раз за этот период, во второй декаде июня, влага атмосферных осадков использовалась эффективно и позволила увеличить межполивной интервал на 2-е суток. Численно, показатель содержания влаги в почве, определенный в междурядьях, на этих вариантах был несколько выше, чем при измерении в зоне размещения растений (в рядке). Однако разница не превышала величину ошибки инструментального определения.

На участках, где картофель высаживали в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м различия по показателю содержания почвенной влаги в рядке и в междурядьях возрастали до 5-10 % НВ, что больше ошибки инструментального определения и свидетельствует о необходимости дифференцированного контроля влажности почвы в зоне размещения растений и за ее пределами. По вариантам опыта, где контроль влажности почвы был организован по смешанному типу (в рядке + в междурядье), до предполивного уровня (80 % НВ) почвенные влагозапасы снижались четыре раза, а межполивной интервал изменялся от 7 до 10 суток. Содержание почвенной влаги в зоне размещения растений при назначении первого, после вступления в фазу полного цветения картофеля, полива, было, в среднем на 2 % НВ ниже установленного предполивного уровня, а в междурядье – на 2,5-3,0 % -выше порога 80 % НВ. В дальнейшем эти различия усиливались. На дату проведения последнего вегетационного полива разница по содержанию почвенной влаги в зоне размещения растений и в междурядье достигала 9 % НВ. Среднее содержание почвенной влаги в рядке не превышало 76,5 % НВ, тогда как в междурядье влажность почвы была не ниже 85,5 % НВ.

На участках, где зона контроля влажности почвы была организована в междурядье, дифференциация показателей содержания почвенной влаги к моменту проведения последнего полива достигала 10 %. При этом в междурядье заданный уровень предполивной влажности почвы был выдержан (фактически полив был проведен при влажности почвы 82 % НВ), а в зоне размещения растений фактиче-



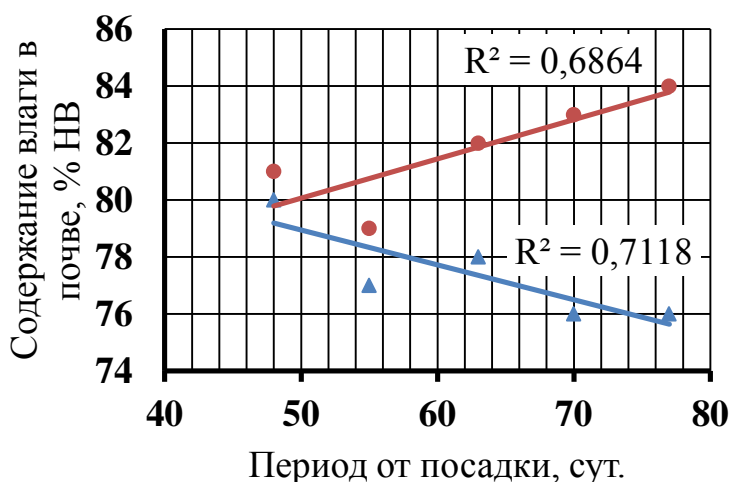
ская влажность 0,5-метрового слоя почвы составила 72 % НВ. При этом общее число пороговых снижений влажности почвы в зоне контроля за период «цветение – начало отмирания ботвы» на участках этого варианта не превышало трех.

Гарантированно выдержать заданный уровень предполивной влажности почвы в зоне размещения растений позволила организация мониторинга влажности в рядке. Общее число пороговых снижений влажности почвы в зоне размещения растений за период «цветение – начало отмирания ботвы» на участках этого варианта достигло пяти. При этом на дату проведения последнего полива различия по содержанию почвенной влаги в слое 0,5 м достигали 7 %. Фактическая влажность почвы в рядке составила 80 % НВ, а в междурядье – 87 % НВ.

При посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м общие закономерности дифференцирования влажности почвы в зоне размещения растений и в междурядье сохранялись. При этом степень дифференцирования почвенного влагосодержания только усиливалась. На участках этого варианта к дате проведения последнего полива разница во влажности расчетного слоя почвы (0,5 м) в рядке и в междурядье достигала 9-12 % НВ.

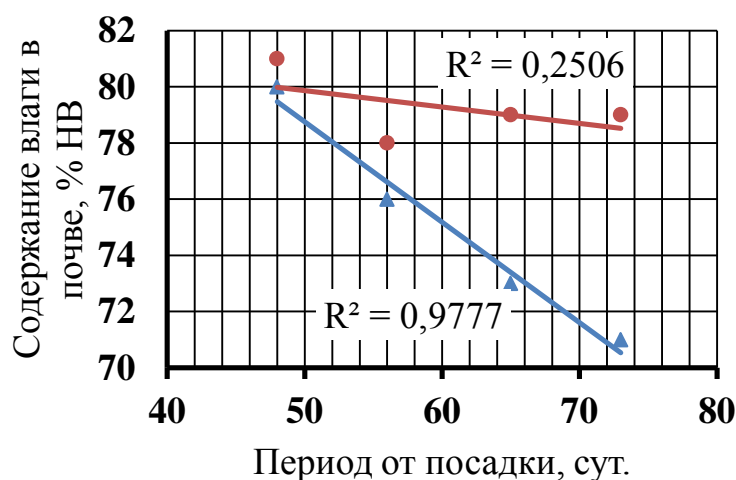
Таким образом, полученные опытные данные свидетельствуют, что при увеличении расстояния между соседними лентами растений до 0,9 м и более наблюдается существенная дифференциация динамики водного режима почвы в рядке и междурядье. Для оценки устойчивости и повторяемости этого процесса нами была проведена статистическая оценка полученных данных. Для проведения статистической обработки были отобраны данные влажности почвы только перед проведением очередного вегетационного полива. Результаты статистических исследований приведены на рисунке 3.5, где представлены тренды изменения предполивной влажности почвы в междурядье и в среде растений в зависимости от зоны контроля влажности почвы для варианта, где посадка клубней осуществлялась в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м.

Из рисунка видно, – результаты статистического анализа опытных данных подтверждают, что почва в рядках, при использовании ленточного способа посадки клубней по формуле  $0,5 \times 0,9$  м, иссушается быстрее, чем в междурядьях.



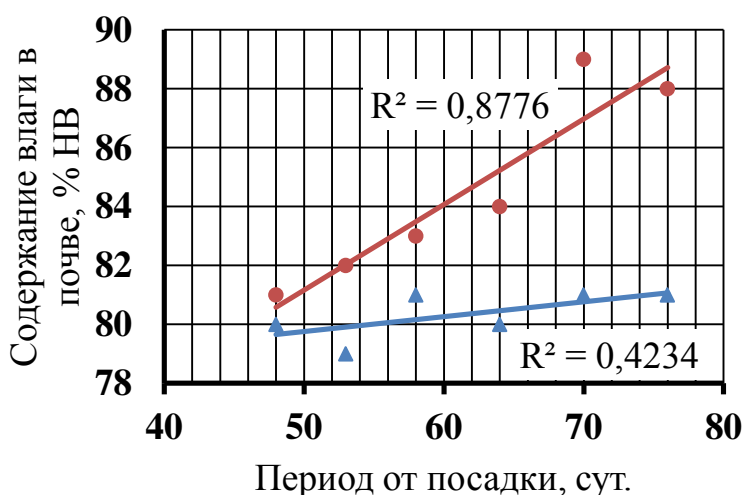
- ▲ Уровень содержания влаги в активном слое почвы перед поливом в рядке
- Уровень содержания влаги в активном слое почвы перед поливом в междурядье

а) контроль влажности активного слоя почвы по смешанному типу



- ▲ Уровень содержания влаги в активном слое почвы перед поливом в рядке
- Уровень содержания влаги в активном слое почвы перед поливом в междурядье

б) контроль влажности активного слоя почвы в междурядье



- ▲ Уровень содержания влаги в активном слое почвы перед поливом в рядке
- Уровень содержания влаги в активном слое почвы перед поливом в междурядье

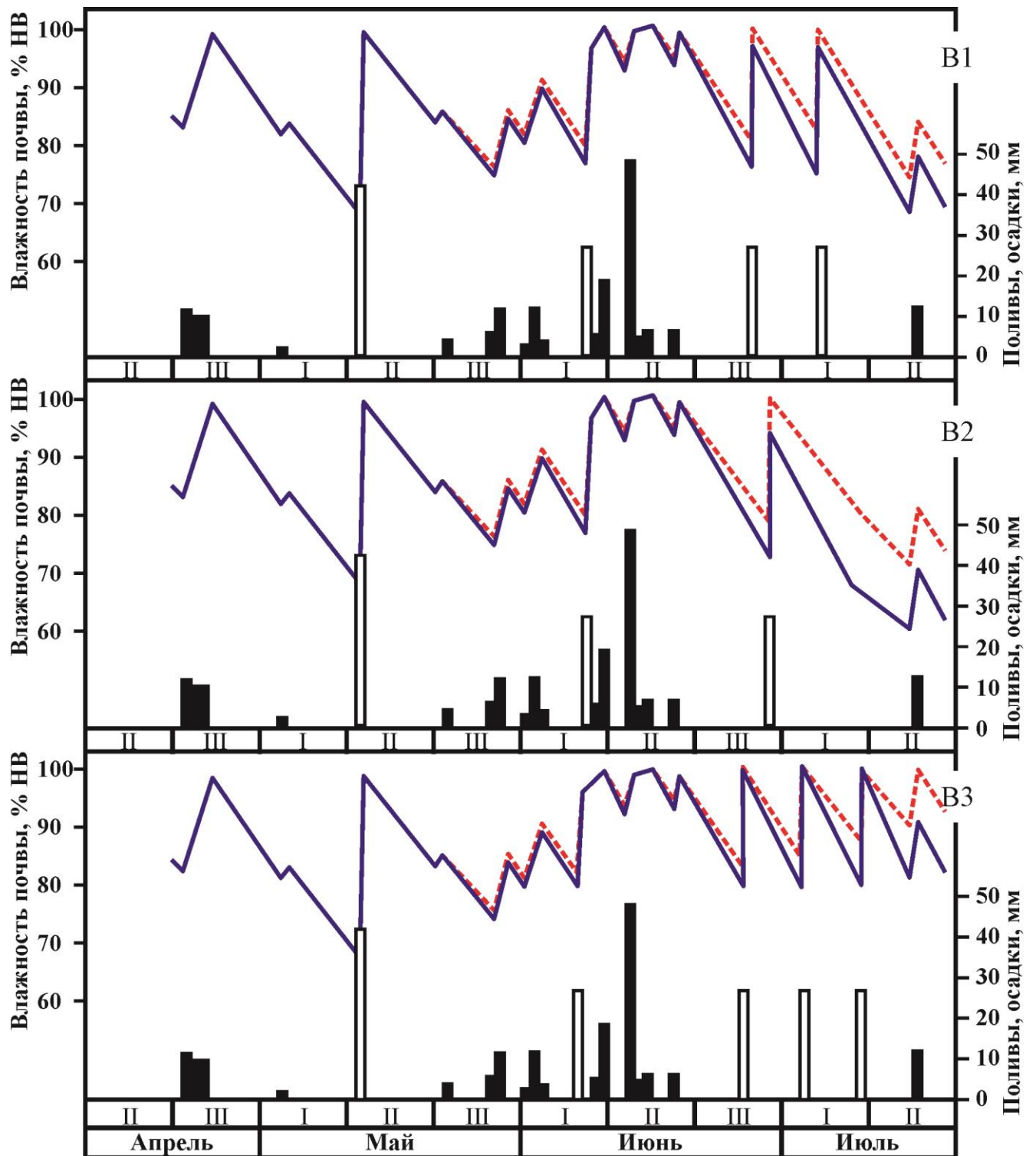
в) контроль влажности активного слоя почвы в рядке

Рисунок 3.5 - Тренды изменения предполивной влажности почвы в междурядье и в среде растений в зависимости от зоны контроля влажности почвы (посадка в двоярный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м, по средним данным за 2012-2014 гг)

Это приводит к тому, что даже при контроле влажности почвы по смешанному типу, по средней пробе из рядка и междурядий, предполивное содержание почвенной влаги в зоне размещения растений к концу сезона снижается до 75,5 % НВ.

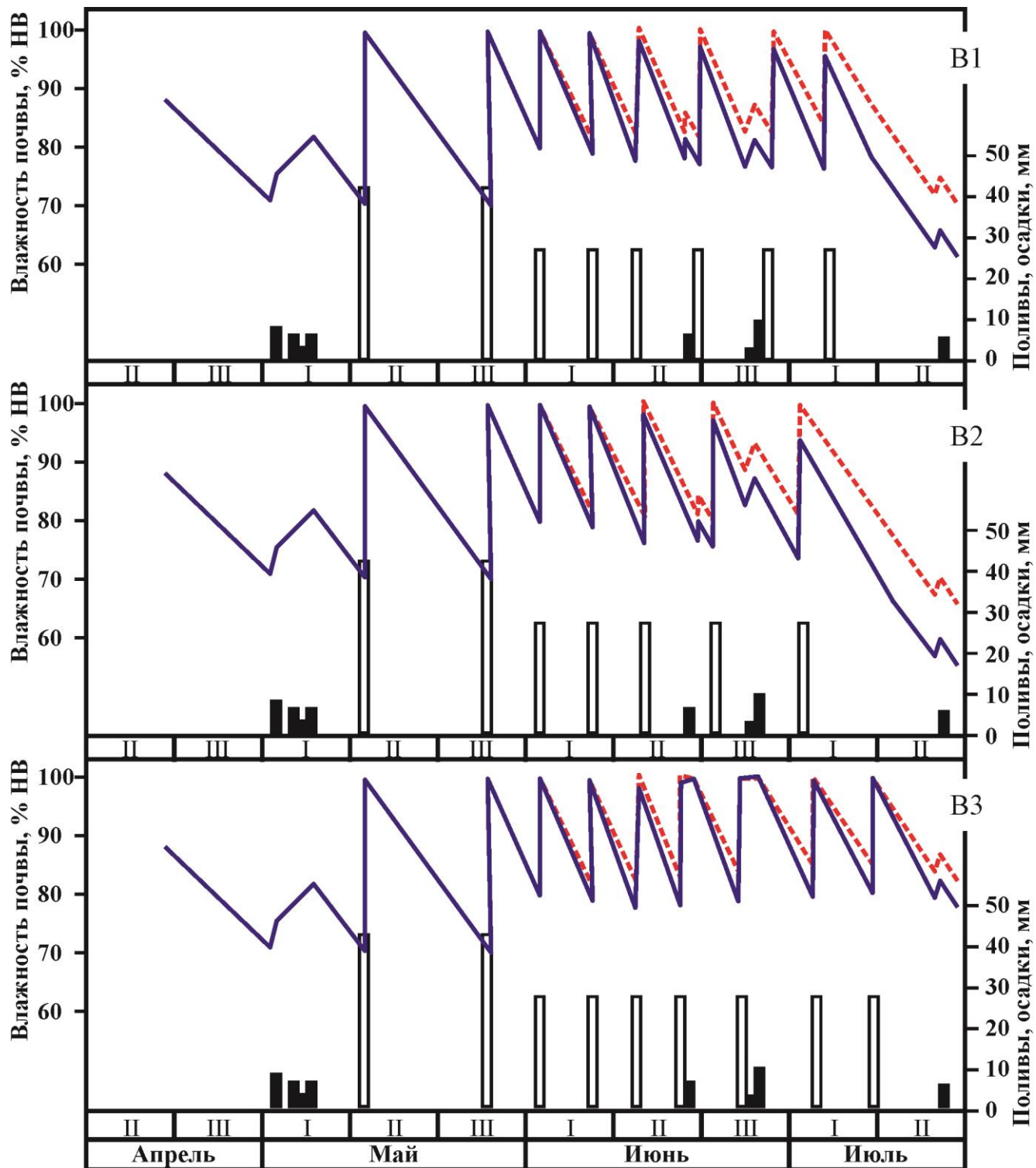
На участках, где контроль влажности почвы осуществляли в междурядьях, выявлен сильный тренд снижения содержания почвенной влаги перед поливом в зоне размещения растений. Предполивное содержание почвенной влаги в зоне размещения растений к концу сезона снижалось до 70,5 % НВ при оптимально установленном диапазоне регулирования водного режима почвы от 80 до 100 % НВ. Только на участках, где контроль за динамикой влажности почвы проводили в рядке, устойчивого тренда к изменению уровня содержания почвенной влаги перед поливом выявлено не было. Порог предполивной влажности почвы в течение рассматриваемого периода удалось выдержать на уровне 80 % НВ. В тоже время уровень содержания почвенной влаги в междурядье перед поливом характеризовался устойчивым трендом роста.

Установленные закономерности сохранялись во все годы проведения исследований (рисунки 3.6-3.7). Дифференцирование запасов почвенной влаги в рядке и в междурядье во все годы исследований проявлялось только с начала фазы массового цветения картофеля и постепенно усиливалось к началу фазы отмирания ботвы. Наиболее жесткие условия водообеспечения картофеля во все годы исследований складывались на участках, где мониторинг влажности почвы был организован в междурядье. Наилучше условия водообеспечения картофеля во все годы исследований складывались на участках, где мониторинг влажности почвы был организован в зоне размещения растений. Вместе с тем, влажность почвы в междурядье при организации зоны контроля в рядке, достигала перед проведением полива 88 % НВ и была явно избыточна.



– осадки, поливы; — — содержание почвенной влаги по данным мониторинга в рядке; - - - - содержание почвенной влаги по данным мониторинга в междурядье

Рисунок 3.6 – Формирование водного режима почвы при спринклерном орошении картофеля в 2013 году (способ посадки – в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м)






 – осадки, поливы; 
  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в рядке; 
  – содержание почвенной влаги по данным мониторинга в междурядье

Рисунок 3.7 – Формирование водного режима почвы при спринклерном орошении картофеля в 2012 году (способ посадки – в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м)

### **3.3 Суммарное водопотребление раннего картофеля в зависимости от способа посадки и положения зоны контроля предполивной влажности**

Водопотребление сельскохозяйственных культур является ключевым процессом, определяющим формирование водного режима почвы. Суммарное водопотребление является совокупным показателем и включает транспирацию растений и физическое испарение с поверхности почвы. Соотношение этих двух процессов неодинаково в течение вегетационного периода культур. Например, в довсходовый период суммарное водопотребление равно физическому испарению влаги с поверхности почвы, а в период наибольшего развития вегетативной части, как правило, не превышает 15-20 % [19, 123].

Величина суммарного водопотребления непостоянна и изменяется в зависимости от многих факторов. Одним из главнейших факторов являются энергетические ресурсы атмосферы [90]. Другими важными факторами является вид культуры, фаза развития, состояние вегетативной части и эффективность функционирования корневой системы, доступность почвенной влаги растениям и степень увлажнения поверхности почвенного покрова. Суммарное водопотребление зависит и от способа орошения [6, 19, 60, 74, 106].

Спринклерное орошение относится к стационарным системам поверхностного дождевания и имеет ряд специфических особенностей. Этот способ орошения, как и капельное, позволяет проводить поливы сколь угодно часто; поэтому появляется возможность организовать режим водообеспечения в соответствии с биологическими потребностями культуры. С другой стороны, в отличие от капельного орошения, при спринклерном орошается весь участок, происходит увлажнение всей поверхности почвы. В отличие от прочих систем дождевания, спринклерное орошение отличается низкоинтенсивной подачей оросительной воды на орошаемый участок. Это позволяет проводить полив без поверхностного стока, практически не наблюдается отрицательного влияния дождя на почву. Режим спринклерного орошения, как и любого другого, определяется динамикой иссушения

активного слоя почвы, которая прямо пропорциональна суммарному водопотреблению.

Водобалансовые исследования для определения суммарного водопотребления раннего картофеля в наших опытах проводились дифференцированно, для каждого варианта в отдельности. Это позволило определить различия между вариантами по суммарному водопотреблению и оценить факторы, которые влияют на процесс водопотребления.

Средняя за годы величина суммарного водопотребления, установленная для раннего картофеля, в опытах изменялась от 3200 до 3673 м<sup>3</sup>/га (таблица 3.4). Исследования показали, что на суммарное водопотребление оказывает влияние не столько способ посадки картофеля, сколько параметры (формула) способа посадки. Например, на участках, где контроль порога предполивной влажности расчетного слоя почвы проводили по смешанному типу (и в междурядье и в зоне размещения растений, контрольный вариант), при посадке картофеля в гребень через 0,7 м суммарное водопотребление составило, в среднем, 3317 м<sup>3</sup>/га, при посадке в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м, - 3313 м<sup>3</sup>/га, а при посадке в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м, - 3510 м<sup>3</sup>/га. Различия в способах посадки (в гребень через 0,7 м и в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м) не превышали ошибку инструментального определения запасов почвенной влаги, а разница суммарного водопотребления в параметрах посадки (посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м и 0,5×0,9 м), составила 197 м<sup>3</sup>/га.

Анализ опытных данных показал, что изучая динамику суммарного водопотребления картофеля при спринклерном орошении нельзя рассматривать способы посадки в отрыве от вариантов размещения зон контроля предполивной влажности почвы. При посадке картофеля в гребень через 0,7 м (контроль) и в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м, значимых различий по объемам суммарного потребления влаги картофелем не было, тогда как при посадке в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м и 0,5×0,9 м – различия достигали 386 м<sup>3</sup>/га. Относительно контрольного варианта, где зоны мониторинга влажности почвы размещали по смешанному типу (и в междурядьях и в рядке), суммарное водопотребление

Таблица 3.4 - Динамика суммарного водопотребления раннего картофеля по годам исследований и вариантам опыта, м<sup>3</sup>/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Год исследований				ΔЕ в зависимости от зоны контроля влажности почвы		ΔЕ в зависимости от способа посадки картофеля	
		2012	2013	2014	Среднее	м <sup>3</sup> /га	%	м <sup>3</sup> /га	%
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	3290	3250	3410	3317	-	-	-	-
	В2 (в междурядье)	3270	3260	3400	3310	-7	-0,2	-	-
	В3 (в рядке)	3300	3260	3410	3323	6	0,2	-	-
Посадка в двойной рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	3300	3270	3370	3313	-	-	-4	-0,1
	В2 (в междурядье)	3290	3270	3360	3307	-6	-0,2	-3	-0,1
	В3 (в рядке)	3300	3270	3370	3313	0	0,0	-10	-0,3
Посадка в двойной рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	3500	3480	3550	3510	-	-	193	5,8
	В2 (в междурядье)	3290	3210	3360	3287	-223	-6,4	-23	-0,7
	В3 (в рядке)	3700	3650	3670	3673	163	4,6	350	10,5
Посадка в двойной рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	3350	3320	3440	3370	-	-	53	1,6
	В2 (в междурядье)	3190	3170	3240	3200	-170	-5,0	-110	-3,3
	В3 (в рядке)	3500	3450	3520	3490	120	3,6	167	5,0



снижалось при организации контроля влажности почвы в междурядьях (в среднем на  $223 \text{ м}^3/\text{га}$ ) и повышалось (в среднем на  $163 \text{ м}^3/\text{га}$ ) при организации контроля влажности почвы в зоне размещения растений. Эта закономерность в разной степени повторялась во все годы исследований.

Тоже самое наблюдалось и при посадке картофеля по технологии сдвоенного ряда с параметрами  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$ . Различия в объеме суммарно потребляемой картофелем влаги по вариантам организации контроля предполивной влажности почвы достигали  $290 \text{ м}^3/\text{га}$ . Наибольшее суммарное водопотребление при таких параметрах посадки картофеля составило, в среднем,  $3490 \text{ м}^3/\text{га}$  (вариант с размещением зоны контроля предполивной влажности почвы в рядке), а наименьшее –  $3200 \text{ м}^3/\text{га}$  (вариант с размещением зоны контроля предполивной влажности почвы в междурядье). Последнее полностью согласуется с особенностями формирования водного режима почвы на этих вариантах.

В течение вегетационного периода вода посадками картофеля потребляется неравномерно (таблица 3.5). За период от посадки до фазы появления массовых всходов на всех вариантах опыта расходовалось, в среднем,  $327 \text{ м}^3/\text{га}$  почвенной влаги. Вода расходовалась за счет физического испарения с поверхности почвы, а так как влажность почвы на всех вариантах опыта в этот период была одинакова, различий в объемах суммарного потребления влаги картофелем не наблюдалось.

Водобалансовые расчеты, проведенные для периода роста и развития картофеля, начиная с фазы всходов и до начала бутонизации, показали численно небольшие различия в суммарном водопотреблении по вариантам способов посадки картофеля. На участках, где картофель высаживали в гребень, величина суммарного водопотребления картофеля за этот период составила  $830 \text{ м}^3/\text{га}$ ; при посадке картофеля по технологии сдвоенного ряда с параметрами  $0,5 \times 0,7 \text{ м}$  объем суммарно потребляемой картофелем влаги увеличился до  $873 \text{ м}^3/\text{га}$ ; при посадке в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$  – суммарное водопотребление достигло  $897 \text{ м}^3/\text{га}$ , а при увеличении расстояния между соседними лентами посадок до  $1,1 \text{ м}$  – снизилось до  $883\text{-}887 \text{ м}^3/\text{га}$ . Не все указанные различия значимы, однако наиболее существенные из них объясняются различиями в продолжительности периода от

Таблица 3.5 - Пофазная динамика суммарного водопотребление картофеля при спринклерном орошении, м<sup>3</sup>/га  
(по средним за 2012-2014 гг. данным)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития					За вегетационный период, м <sup>3</sup> /га
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Начало отмирания ботвы - техническая спелость клубня	
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	327	827	450	1370	343	3317
	В2 (в междурядье)	327	830	450	1360	343	3310
	В3 (в рядке)	327	827	453	1373	343	3323
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	327	873	460	1333	320	3313
	В2 (в междурядье)	327	873	460	1330	317	3307
	В3 (в рядке)	327	873	460	1333	320	3313
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	327	897	467	1470	350	3510
	В2 (в междурядье)	327	897	463	1297	303	3287
	В3 (в рядке)	327	897	477	1613	360	3673
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	327	883	457	1370	333	3370
	В2 (в междурядье)	327	883	450	1237	303	3200
	В3 (в рядке)	327	887	460	1470	347	3490

появления всходов до начала бутонизации картофеля, которая была неодинакова в вариантах с различными способами посадки.

Продолжительность периода от появления первых бутонов до начала массового цветения картофеля была одинакова на всех вариантах опыта, однако значения суммарного водопотребления картофеля, приведенные в таблице 3.5, неодинаковы. Можно предположить, что с начала фазы бутонизации, различия в структуре посева и динамике формирования вегетативной массы картофеля, оказывают влияние на интенсивность транспирации, а следовательно, и на интенсивность суммарного водопотребления. Но различия в значениях суммарного водопотребления по этому периоду настолько малы, что их также можно отнести и к ошибке инструментального определения запасов почвенной влаги при проведении водобалансовых исследований.

Наибольшие различия по объемам суммарно потребляемой картофелем влаги в вариантах опыта выявлены для периода роста и развития, включающего фазу цветения, роста клубня и заканчивающегося началом фазы отмирания ботвы. Это достаточно продолжительный период, за который посадками картофеля расходуется более 40 % всей потребляемой влаги. Суммарное водопотребление картофеля в этот период достигает 1237 – 1613 м<sup>3</sup>/га. На участках, где картофель высаживали в гребень через 0,7 м или в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м, суммарное водопотребление составило 1330-1370 м<sup>3</sup>/га с минимальными различиями по вариантам. При посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м суммарное водопотребление в зависимости от размещения зоны контроля предполивной влажности почвы изменялось, в среднем, от 1297 до 1613 м<sup>3</sup>/га. Минимальный расход воды, 1297 м<sup>3</sup>/га, на суммарное водопотребление в этот период был получен на участках, где контроль порога предполивной влажности почвы проводили в междурядье. Максимальные значения суммарного водопотребления, 1613 м<sup>3</sup>/га, были получены на участках, где контроль порога предполивной влажности почвы проводили в зоне размещения растений (в рядке). В варианте, где контроль предполивной влажности почвы был организован по смешанному типу (в рядке и в междурядье) объем суммарно израсходованной воды на суммарное

водопотребление за период «цветение-начало отмирания ботвы» составил 1470 м<sup>3</sup>/га. Такая же динамика изменения суммарного водопотребления картофеля выявлена и на участках, где посев в сдвоенный рядок проводили по формуле 0,5×1,1 м. Больше всего воды картофелем потреблялось при организации контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений, а меньше всего, - при организации мониторинга предполивной влажности почвы в междурядьях.

Таким образом, различия по суммарному водопотреблению картофеля формируются, преимущественно в период «цветение – начало отмирания ботвы». Это полностью согласуется с трендами изменения фактической влажности почвы в рядках и междурядьях, которые также начинают расходиться с начала фазы цветения.

С начала фазы отмирания ботвы и до наступления технической спелости клубня картофель расходует не более 303-360 м<sup>3</sup>/га воды. Запасов почвенной влаги, как правило, бывает достаточно, чтобы обеспечить этот расход без проведения вегетационных поливов.

Динамика среднесуточного водопотребления характеризует интенсивность процесса в «чистом виде», без учета влияния продолжительности отдельных периодов роста и развития на величину суммарного водопотребления. Нами были рассчитаны значения среднесуточного водопотребления для каждого из рассматриваемых межфазных периодов, что позволило построить кривые динамики этого процесса. Графики изменения среднесуточного водопотребления картофеля по вариантам опыта сгруппированы и приведены на рисунках 3.8-3.11.

Анализ графического материала показал отсутствие значимых изменений в динамике среднесуточного водопотребления картофеля на участках, где посадка проводилась в гребень через 0,7 м или в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м. Пик значений среднесуточного водопотребления приходится на период «цветение – начало отмирания ботвы», когда в среднем по годам расходовалось до 52 м<sup>3</sup>/га воды за сутки. Общая динамика кривой среднесуточного водопотребления характеризуется невысокими значениями в довсходовый период картофеля (в среднем, 18,3 м<sup>3</sup>/га в сут.), повышением интенсивности водопотребления в периоды

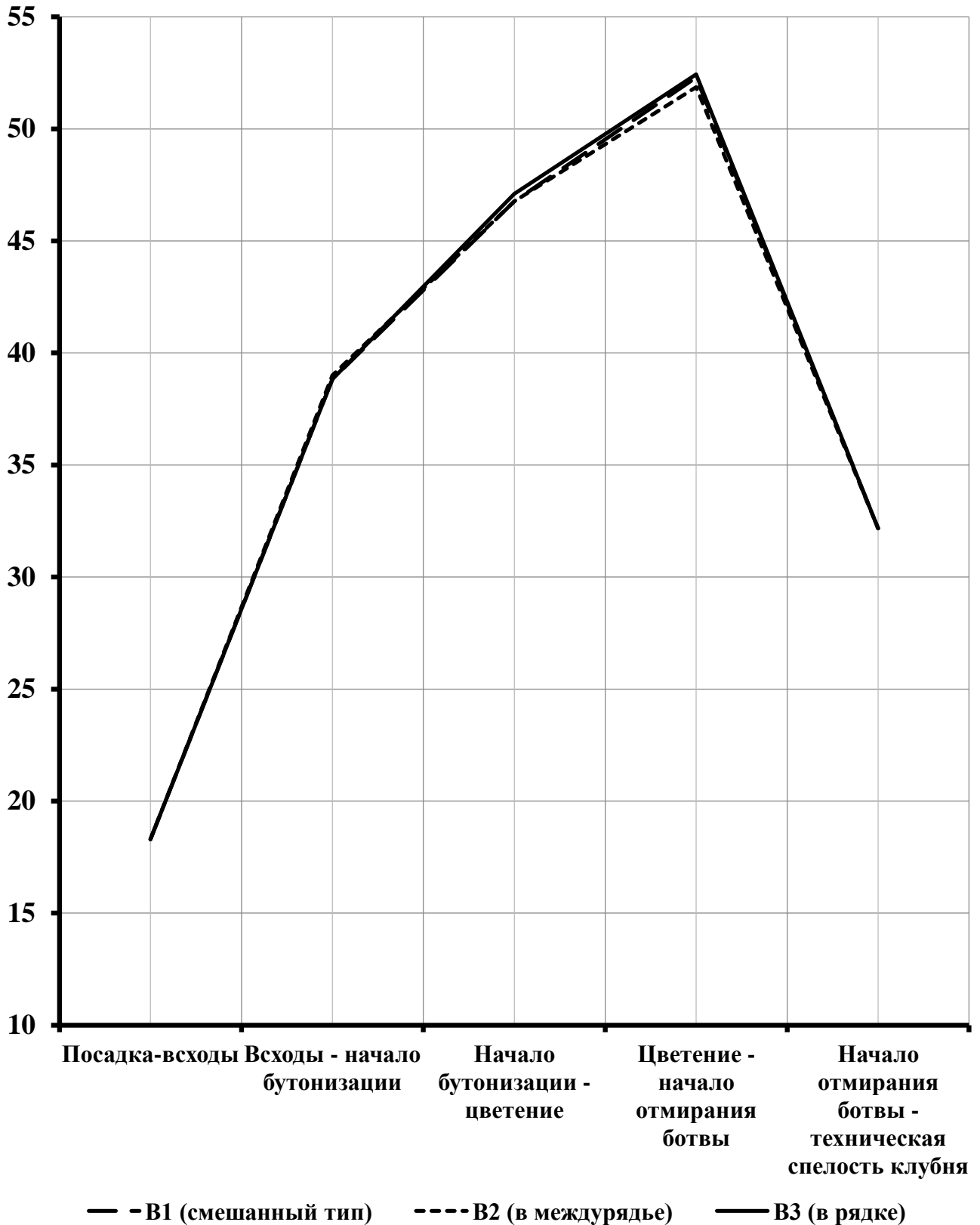


Рисунок 3.8 - Динамика среднесуточного водопотребления раннего картофеля в зависимости от размещения зон контроля влажности почвы, м<sup>3</sup>/га в сут. (способ посадки картофеля в гребень через 0,7 м, построено по средним за 2012-2014 гг. данным)

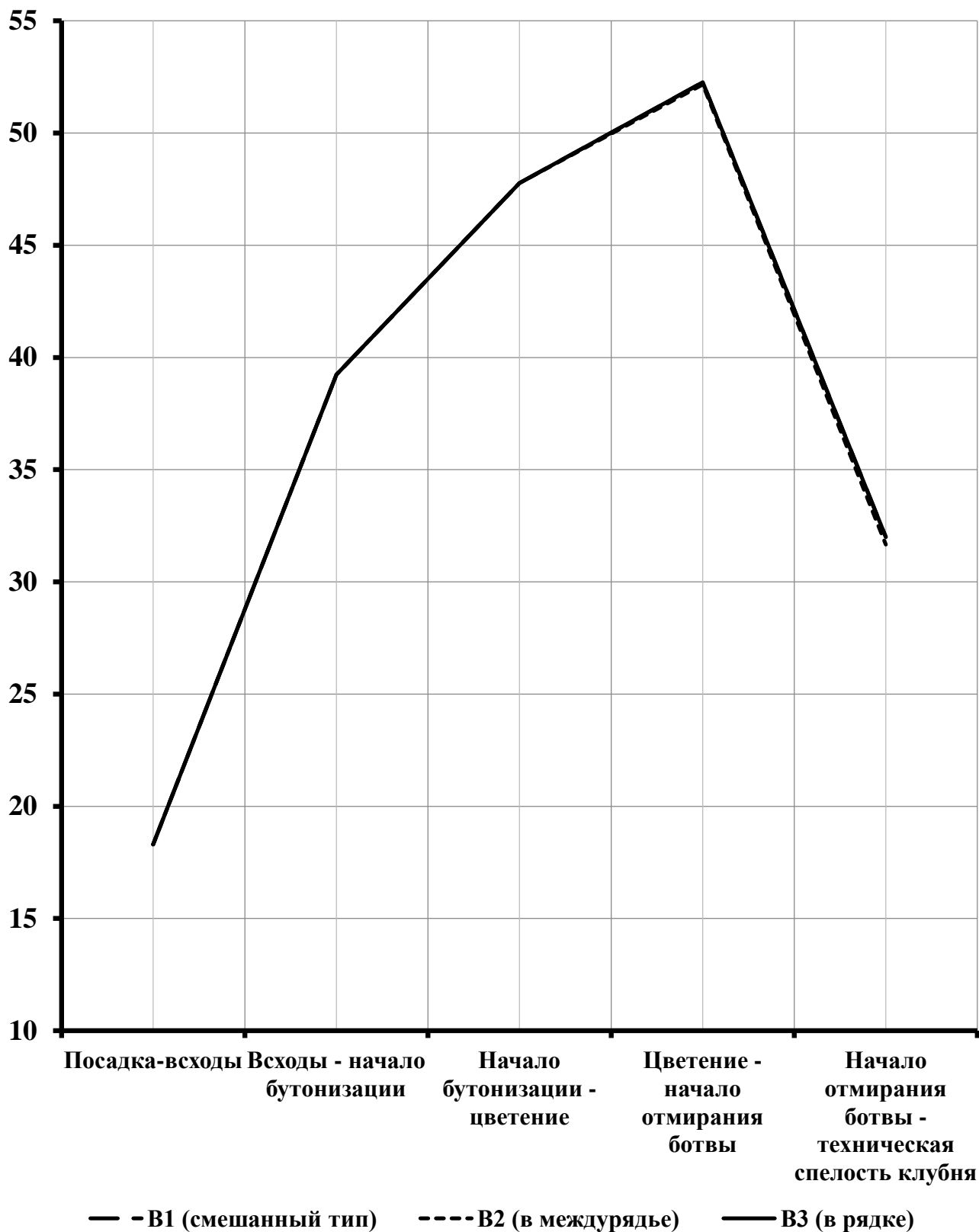


Рисунок 3.9 - Динамика среднесуточного водопотребления раннего картофеля в зависимости от размещения зон контроля влажности почвы, м<sup>3</sup>/га в сут. (способ посадки картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м, построено по средним за 2012-2014 гг. данным)

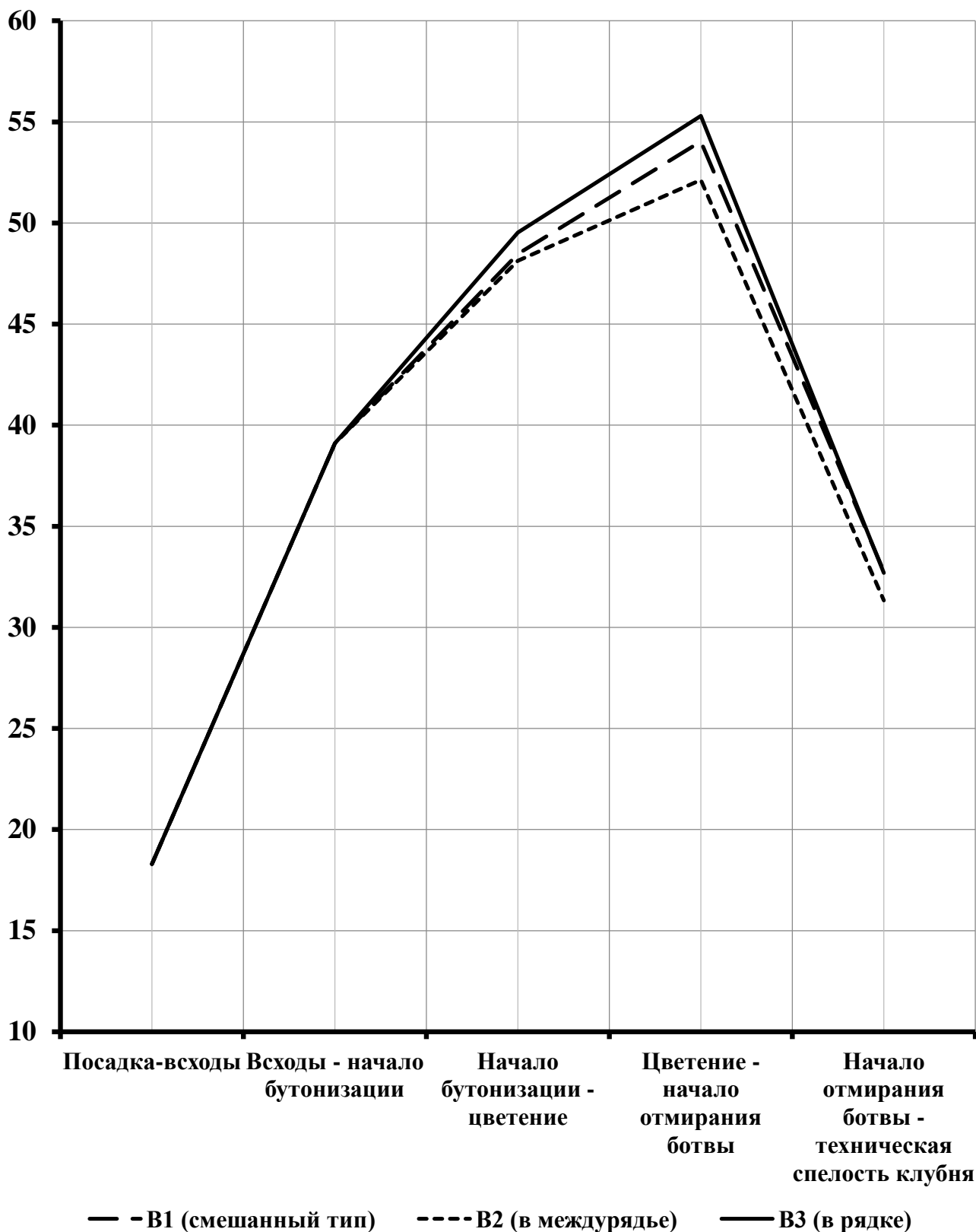


Рисунок 3.10 - Динамика среднесуточного водопотребления раннего картофеля в зависимости от размещения зон контроля влажности почвы, м<sup>3</sup>/га в сут. (способ посадки картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м, построено по средним за 2012-2014 гг. данным)

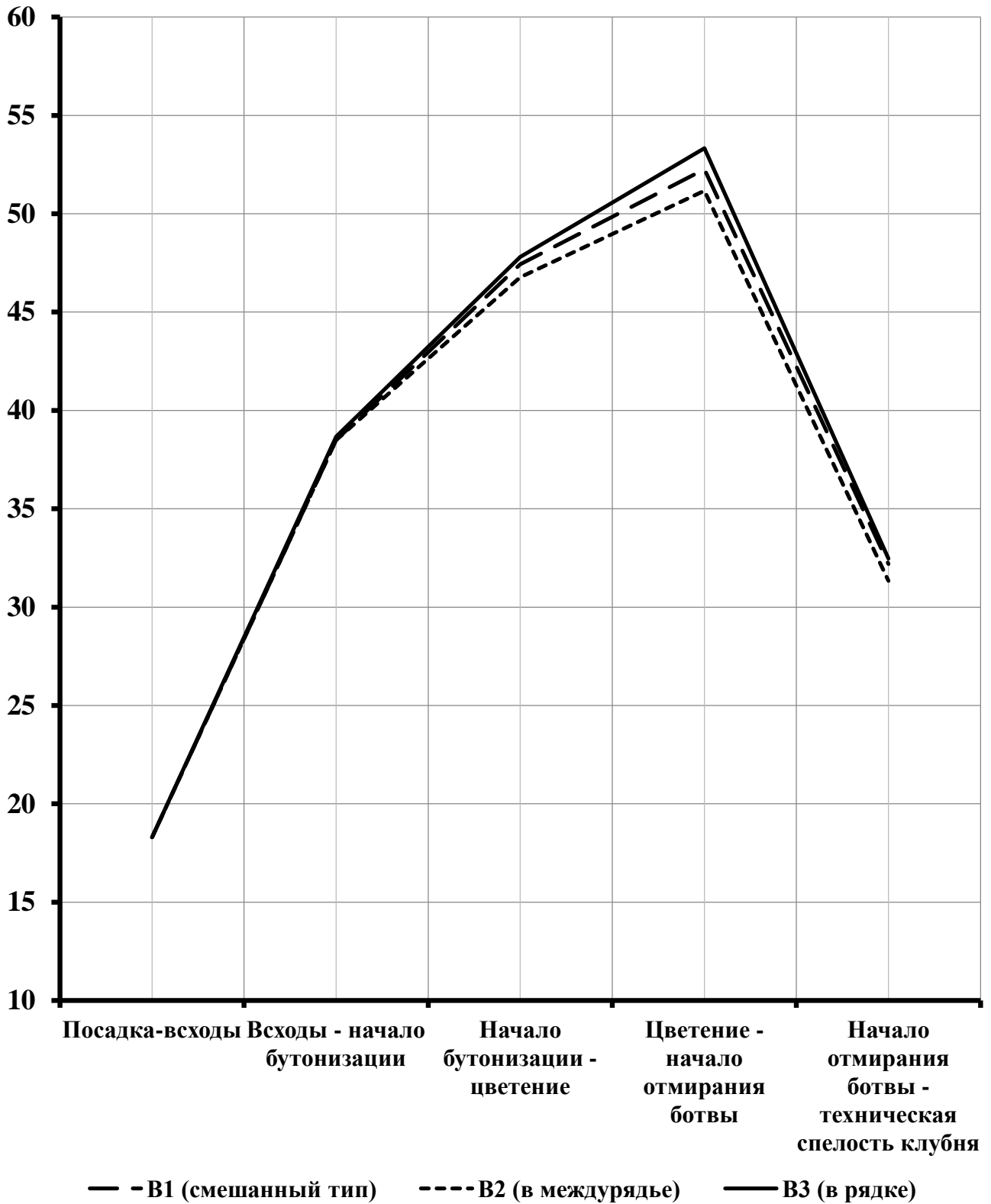


Рисунок 3.11 - Динамика среднесуточного водопотребления раннего картофеля в зависимости от размещения зон контроля влажности почвы, м<sup>3</sup>/га в сут. (способ посадки картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м, построено по средним за 2012-2014 гг. данным)



«всходы – начало бутонизации» до  $39 \text{ м}^3/\text{га}$  в сут. и «начало бутонизации – цветение», - до  $47,7\text{-}49,5 \text{ м}^3/\text{га}$  в сут. После пика в период «цветение-начало отмирания ботвы» следует снижение интенсивности водопотребления до  $31,3\text{-}32,1 \text{ м}^3/\text{га}$  в фазу созревания клубня.

Из приведенных на рисунках 3.8-3.11 графиков видно, что динамика среднесуточного водопотребления на участках, где картофель сажали в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$ , неодинакова для вариантов с разной организацией зон контроля предполивной влажности почвы. Различия в значениях среднесуточного водопотребления начинают проявляться уже в фазы бутонизации и цветения, достигая максимума в период «цветение – начало отмирания ботвы». Численно, наименьшими значениями среднесуточного водопотребления,  $52,1 \text{ м}^3/\text{га}$  в сут., в период «цветение – начало отмирания ботвы» характеризовался вариант с организацией зоны контроля предполивной влажности почвы в междурядье. При организации зоны контроля предполивной влажности почвы в рядке среднесуточное водопотребление картофеля в период «цветение – начало отмирания ботвы» достигало  $55,3 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Различия в динамике среднесуточного водопотребления картофеля также наблюдались на участках, где картофель сажали в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$ . Установленная закономерность здесь полностью сохранялась, но в целом интенсивность водопотребления была ниже, чем при посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$ . В период «цветение – начало отмирания ботвы» различия в среднесуточном водопотреблении были наибольшими и изменялись от  $51,1 \text{ м}^3/\text{га}$  в сут. на участках с организацией зоны контроля предполивной влажности почвы в междурядьях до  $53,3 \text{ м}^3/\text{га}$  в сут. на участках, где предполивную влажность почвы контролировали в зоне размещения растений ( в рядке).

Опыты показали, что оросительная норма, необходимая для поддержания водного режима активного слоя почвы в заданном диапазоне, существенно зависит от уровня естественной влагообеспеченности вегетационного периода. Например, в 2013 году, когда за вегетационный период картофеля поступило свыше 180 мм атмосферных осадков, оросительная норма картофеля не превышала 980-1540

м<sup>3</sup>/га (таблица 3.6). В самый засушливый, 2012 год, при поступлении не более 40 мм осадков, оросительная норма картофеля, необходимая для поддержания заданного порога предполивной влажности почвы, возросла до 2380-2940 м<sup>3</sup>/га. Однако, во все годы исследований оросительная норма была наиболее значимой статьёй баланса почвенной влаги.

Доля оросительной нормы в формировании водного баланса почвы изменялась не только по годам исследований; существенные изменения затрат оросительной воды для поддержания водного режима почвы в заданном диапазоне отмечены также по вариантам опыта.

На участках, где картофель высаживали в гребень, через 0,7 м, и в сдвоенный рядок, по формуле 0,5×0,7 м, доля участия оросительной воды в формировании водного баланса почвы оценена в 64,4-64,8 %. На участках, где картофель высаживали в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м, доля участия оросительной воды в формировании водного баланса почвы существенно изменялась в зависимости от размещения зоны контроля влажности почвы. При организации контроля влажности почвы по смешанному типу (в междурядье и в зоне размещения растений, - в рядке) за счет оросительной воды возмещалось до 61,1 % расходуемой посадками картофеля влаги. При организации контроля влажности почвы в междурядье доля участия оросительной воды в формировании водного баланса почвы снижалась, в среднем, до 56,5 %. При организации контроля влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) доля участия оросительной воды в формировании водного баланса почвы, напротив, достигала 66,0 %. Та же закономерность изменения доли участия оросительной воды в формировании водного баланса почвы прослеживалась и на участках, где картофель высаживали в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м. Численно, доля участия оросительной воды в формировании водного баланса почвы составила 63,6 % при организации зоны контроля предполивной влажности почвы по смешанному типу (в рядке и в междурядье), 58,2 % - при размещении зоны контроля предполивной влажности почвы в междурядье и 69,4 % - при размещении зоны контроля влажности почвы в рядке.

Таблица 3.6 - Результаты водобалансовых исследований (основные статьи водного баланса)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Год исследований	Оросительная норма, (E)		Использовано влаги атмосферных осадков, (P)		Использовано почвенной влаги, ( $\Delta W$ )	
			м <sup>3</sup> /га	%	м <sup>3</sup> /га	%	м <sup>3</sup> /га	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	2012	2660	80,9	314	9,5	316	9,6
		2013	1260	38,8	1714	52,7	276	8,5
		2014	2520	73,9	470	13,8	420	12,3
		Среднее	2147	64,5	833	25,3	337	10,1
	В2 (в междурядье)	2012	2660	81,3	314	9,6	296	9,1
		2013	1260	38,7	1714	52,6	286	8,8
		2014	2520	74,1	470	13,8	410	12,1
		Среднее	2147	64,7	833	25,3	331	10,0
	В3 (в рядке)	2012	2660	80,6	314	9,5	326	9,9
		2013	1260	38,7	1714	52,6	286	8,8
		2014	2520	73,9	470	13,8	420	12,3
		Среднее	2147	64,4	833	25,3	344	10,3
Посадка в двоянный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	2012	2660	80,6	314	9,5	326	9,9
		2013	1260	38,5	1714	52,4	296	9,1
		2014	2520	74,8	470	13,9	380	11,3
		Среднее	2147	64,6	833	25,3	334	10,1
	В2 (в междурядье)	2012	2660	80,9	314	9,5	316	9,6
		2013	1260	38,5	1714	52,4	296	9,1
		2014	2520	75,0	470	14,0	370	11,0
		Среднее	2147	64,8	833	25,3	327	9,9
	В3 (в рядке)	2012	2660	80,6	314	9,5	326	9,9
		2013	1260	38,5	1714	52,4	296	9,1
		2014	2520	74,8	470	13,9	380	11,3
		Среднее	2147	64,6	833	25,3	334	10,1

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Посадка в сдвоенный ря- док по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	2012	2660	76,0	316	9,0	524	15,0
		2013	1260	36,2	1839	52,8	381	10,9
		2014	2520	71,0	470	13,2	560	15,8
		Среднее	2147	61,1	875	25,0	488	13,9
	В2 (в междурядье)	2012	2380	72,3	314	9,5	596	18,1
		2013	980	30,5	1714	53,4	516	16,1
		2014	2240	66,7	470	14,0	650	19,3
		Среднее	1867	56,5	833	25,6	587	17,8
	В3 (в рядке)	2012	2940	79,5	546	14,8	214	5,8
		2013	1540	42,2	1839	50,4	271	7,4
		2014	2800	76,3	470	12,8	400	10,9
		Среднее	2427	66,0	952	26,0	295	8,0
Посадка в сдвоенный ря- док по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	2012	2660	79,4	316	9,4	374	11,2
		2013	1260	38,0	1724	51,9	336	10,1
		2014	2520	73,3	470	13,7	450	13,1
		Среднее	2147	63,6	837	25,0	387	11,5
	В2 (в междурядье)	2012	2380	74,6	314	9,8	496	15,5
		2013	980	30,9	1714	54,1	476	15,0
		2014	2240	69,1	470	14,5	530	16,4
		Среднее	1867	58,2	833	26,1	501	15,6
	В3 (в рядке)	2012	2940	84,0	546	15,6	14	0,4
		2013	1540	44,6	1839	53,3	71	2,1
		2014	2800	79,5	470	13,4	250	7,1
		Среднее	2427	69,4	952	27,4	112	3,2

Обратная картина наблюдалась в динамике использования запасов почвенной влаги на суммарное водопотребление картофеля. На участках, где картофель высаживали в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м или  $0,5 \times 1,1$  м меньше всего запасов почвенной влаги, 3,2-8,0 %, при организации зоны контроля предполивной влажности почвы в рядке. При организации зоны контроля влажности почвы по смешанному типу (в рядке и в междурядье) за счет запасов почвенной влаги возмещалось, в среднем, 11,5-13,9 %, суммарного водопотребления картофеля. На участках, где предполивную влажность почвы контролировали в междурядье, доля участия запасов почвенной влаги в формировании суммарного водопотребления картофеля достигала 15,6-17,8 %.

Таким образом, при посадке картофеля по технологии сдвоенного рядка и увеличении междурядного расстояния до 0,9 м и более, суммарное водопотребление и количественное соотношение приходных статей баланса почвенной влаги изменяется в зависимости от зоны размещения инструментального контроля предполивной влажности почвы. Размещение зоны контроля предполивной влажности почвы в рядке сопровождается увеличением суммарного водопотребления картофеля, увеличением доли участия оросительной воды в формировании баланса почвенной влаги и снижением доли участия почвенных влагозапасов в возмещении суммарного водопотребления. Размещение зоны контроля предполивной влажности почвы в междурядье сопровождается снижением суммарного водопотребления картофеля, характеризуется наименьшими значениями доли участия оросительной воды в формировании баланса почвенной влаги и существенным ростом значимости почвенных влагозапасов в возмещении суммарного водопотребления.

### **3.4 Параметры биоклиматической модели контроля влажности почвы для раннего картофеля при спринклерном орошении**

С развитием инструментальных способов контроля предполивной влажности почвы расчетные методы не потеряли свою актуальность и используются для со-

ставления средне- и краткосрочных прогнозов потребности в проведении вегетационных поливов. Большинство расчетных методов контроля актуальной влажности почвы основаны на использовании уравнения водного баланса для расчетного слоя почвы. Уравнение в полной форме имеет довольно громоздкий вид:

$$Q_{\text{атм.}} + M + W_{\text{п.п}} + W_{\text{п.поч}} - W_{\text{с.п}} - W_{\text{с.поч}} - ET_{\text{crop}} - I + K \pm \Delta W \pm \Delta W_{\text{пов.}} = 0$$

где  $Q_{\text{атм.}}$  – влага поступивших за расчетный период атмосферных осадков, мм,  $M$  – объем оросительной воды, поданный на участок за расчетный период, мм,  $W_{\text{п.п}}$  – приток поверхностных вод на участок за расчетный период, мм,  $W_{\text{п.поч}}$  – приток внутрипочвенных вод, мм,  $W_{\text{с.п}}$  – отток (сток) поверхностных вод, мм,  $W_{\text{с.поч}}$  – внутрипочвенный сток, мм,  $ET_{\text{crop}}$  – суммарное водопотребление, мм,  $I$  и  $K$  - характеризуют влагообмен расчетного слоя почвы с грунтовыми водами, мм,  $\Delta W$  – изменение запасов почвенной влаги в расчетном слое, м,  $\Delta W_{\text{пов.}}$  – изменение запасов поверхностных вод, в том числе в микропонижениях рельефа, мм.

На практике, для участков с известными гидрологическими условиями не все приведенные статьи баланса почвенной влаги имеют значение, а могут и вовсе быть исключены. Наши опыты проводились на участке с автоморфным формированием почвенного покрова, когда из-за глубины залегания грунтовых вод не менее 8,5- 12,0 м их влияние на почвообразующие горизонты не прослеживается. Рельеф в зоне распространения светло-каштановых почв Нижнего Поволжья преимущественно равнинный, поэтому практически исключаются условия, при которых возможен боковой приток поверхностных или внутрипочвенных вод. Микро-неровности рельефа на орошаемых землях недопустимы, для чего мелиорированные участки тщательно планируют. Это исключает накопление запасов поверхностных вод в микропонижениях. И, наконец, изменение запасов поверхностных вод, возможно лишь при поливе сельскохозяйственных культур затоплением (например, риса), и практически исключается при использовании низкоинтенсивного дождевания.

Наши исследования показали, что основными статьями, определяющими баланс почвенной влаги в зоне распространения светло-каштановых почв Нижнего Поволжья при глубине залегания грунтовых вод свыше 8,5 м, являются суммар-

ное водопотребление, влага атмосферных осадков, изменение запасов почвенной влаги в расчетном слое и оросительная вода:

$$M + Q_{\text{атм.}} + \Delta W - ET_{\text{crop}} = 0$$

Отсюда, изменение запасов почвенной влаги, характеризующее динамику вла-госодержания расчетного слоя почвы, определится из соотношения:

$$\Delta W = M + Q_{\text{атм.}} - ET_{\text{crop}}$$

Инструментальное определение  $M$  и  $Q_{\text{атм.}}$  в настоящее время не вызывает затруднений. Главной, и самой неопределенной статьей баланса почвенной влаги в этих условиях является суммарное водопотребление ( $ET_{\text{crop}}$ ), которое зависит от условий водообеспечения, от особенностей развития культуры, текущих параметров состояния посева, метеоусловий, факторов почвообработки, структуры посева, других элементов агротехники.

Одной из признанных моделей определения суммарного водопотребления является модель Пенмана-Монтейта [147], опирающаяся на значения эталонной эвапотранспирации:

$$ET_{\text{crop}} = ET_0 \cdot K_b,$$

где  $K_b$  – биологический коэффициент, устанавливающий пропорцию между суммарным водопотреблением возделываемой сельскохозяйственной культуры и суммарным водопотреблением эталонной культуры ( $ET_0$ ).

При этом суммарное водопотребление эталонной культуры определяется по эмпирически установленной зависимости [147]:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

где  $ET_0$  – эталонная эвапотранспирация, мм/сут.,  $R_n$  – чистая радиация на поверхности растений, мДж/ м<sup>2</sup> в сут.,  $G$  – плотность теплового потока почвы, мДж/м<sup>2</sup> в сут.,  $t$  – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м,  $U_2$  – скорость ветра на высоте 2 м, м/с,  $e_s$  – давление пара насыщения, кПа,  $e_a$  – фактическое давление пара, кПа,  $e_s - e_a$  – дефицит давления пара насыщения, кПа,  $\Delta$  уклон кривой давления пара, кПа/°С,  $\gamma$  – психрометрическая постоянная, кПа/°С.

Как видно из представленного уравнения, зависимость опирается на целый комплекс факторов, прогнозирование которых в реальных условиях весьма затруднительно. На практике эта модель используется, преимущественно, для определения суммарного водопотребления по фактическим (ретроспективным) метеорологическим данным. Для решения прогнозных задач из-за наложения ошибок предсказания значений всего комплекса исходных данных представленную модель использовать нецелесообразным. Поэтому, несмотря на существенные подвижки в создании «идеальных» расчетных методов определения суммарного водопотребления, для решения задач прогнозирования актуальными остаются простые однопараметрические модели. Для региона исследований наибольшее признание получил метод определения суммарного водопотребления сельскохозяйственных культур по фактически накопленной сумме среднесуточных температур воздуха с использованием температурных коэффициентов [71, 90]:

$$ET_{crop} = K_t \cdot \sum t_{сут.},$$

где  $K_t$  – среднее значение температурных коэффициентов испарения влаги для расчетного периода, мм/ $^{\circ}$ C,  $\sum t_{сут.}$  – сумма среднесуточных температур воздуха за расчетный период.

Данный метод имеет ряд недостатков, которые ограничивают возможность его применения:

- значения температурных коэффициентов испарения могут быть использованы только для определенной территории со сходными метеорологическими условиями и рельефом;
- значения температурных коэффициентов индивидуальны для каждой сельскохозяйственной культуры;
- значения температурных коэффициентов существенно зависят от способа и техники полива, структуры посева и агротехники возделывания, а также изменяются при нарушении условий водообеспечения.

Учитывая эти ограничения, нами были экспериментально уточнены значения температурных коэффициентов испарения влаги для раннего картофеля при спринклерном орошении. В результате проведенных исследований были опреде-



лены средневзвешенные значения температурных коэффициентов для вегетационного периода, а также для основных фаз роста и периодов развития (таблица 3.7-3.8). Расчеты показали, что при посадке картофеля в гребень через 0,7 м или в сдвоенный рядок с междурядьем 0,7 м (0,5×0,7 м) средневзвешенные значения температурных коэффициентов для раннего картофеля при спринклерном орошении составляют 0,186-0,187 мм/°С и практически не изменяются в зависимости от размещения зоны инструментального контроля предполивной влажности почвы. При посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м такие значения температурных коэффициентов сохранились только на участках, где зона инструментального контроля предполивной влажности почвы размещалась в междурядьях. При организации зоны контроля влажности почвы по смешанному типу (контрольный вариант, с отбором проб влажности почвы и в рядке и в междурядье) средневзвешенное значение температурных коэффициентов испарения влаги за вегетационный период картофеля возросло до 0,190 мм/°С. Наибольшие значения температурных коэффициентов испарения влаги для раннего картофеля при спринклерном орошении были получены на участках, где посадка в сдвоенный рядок проводилась по формуле 0,5×0,9 м, а инструментальный контроль порога предполивной влажности почвы проводился в рядке. В среднем за годы исследований на участках этого варианта расходовалось 0,193 мм влаги на каждый градус накопленных среднесуточных температур воздуха.

При посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м наименьшие значения температурных коэффициентов также формировались при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядьях, а наибольшие, - при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке). Однако общие значения температурных коэффициентов, 0,183-0,188 мм/°С, при таком способе посадки картофеля ниже, чем при посадке в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м. Последнее хорошо согласуется с динамикой роста вегетативной части картофеля при этих способах посадки.

Таблица 3.7 - Динамика биоклиматических коэффициентов раннего картофеля по годам исследований и вариантам опыта, м<sup>3</sup>/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Год исследований				ΔЕ в зависимости от зоны контроля влажности почвы		ΔЕ в зависимости от способа посадки картофеля	
		2012	2013	2014	Среднее	м <sup>3</sup> /га	%	м <sup>3</sup> /га	%
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,187	0,183	0,189	0,186	-	-	-	-
	В2 (в междурядье)	0,185	0,184	0,188	0,186	0	0,0	-	-
	В3 (в рядке)	0,187	0,184	0,189	0,187	0,001	0,5	-	-
Посадка в двойной рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,187	0,184	0,190	0,187	-	-	0,001	0,5
	В2 (в междурядье)	0,187	0,184	0,189	0,187	0	0,0	0,001	0,5
	В3 (в рядке)	0,187	0,184	0,190	0,187	0	0,0	0	0,0
Посадка в двойной рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,190	0,189	0,191	0,190	-	-	0,004	2,2
	В2 (в междурядье)	0,187	0,184	0,189	0,187	-0,003	-1,6	0,001	0,5
	В3 (в рядке)	0,193	0,193	0,193	0,193	0,003	1,6	0,006	3,2
Посадка в двойной рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,185	0,185	0,188	0,186	-	-	0	0,0
	В2 (в междурядье)	0,183	0,181	0,185	0,183	-0,003	-1,6	-0,003	-1,6
	В3 (в рядке)	0,188	0,187	0,190	0,188	0,002	1,1	0,001	0,5

Таблица 3.8 - Температурные коэффициенты испарения влаги для раннего картофеля при спринклерном орошении, мм/°С (по средним за 2012-2014 гг. данным)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития					За вегетационный период
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Начало отмирания ботвы - техническая спелость клубня	
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,124	0,181	0,224	0,229	0,131	0,186
	В2 (в междурядье)	0,124	0,182	0,224	0,227	0,131	0,186
	В3 (в рядке)	0,124	0,181	0,226	0,229	0,131	0,187
Посадка в двоянный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,124	0,184	0,227	0,227	0,131	0,187
	В2 (в междурядье)	0,124	0,184	0,227	0,227	0,130	0,187
	В3 (в рядке)	0,124	0,184	0,227	0,227	0,131	0,187
Посадка в двоянный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,124	0,183	0,229	0,234	0,133	0,190
	В2 (в междурядье)	0,124	0,183	0,228	0,227	0,129	0,187
	В3 (в рядке)	0,124	0,183	0,235	0,237	0,135	0,193
Посадка в двоянный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,124	0,180	0,225	0,227	0,131	0,186
	В2 (в междурядье)	0,124	0,180	0,221	0,223	0,129	0,183
	В3 (в рядке)	0,124	0,181	0,226	0,231	0,132	0,188

В течение вегетационного периода в зависимости от зоны размещения инструментального контроля порога предполивной влажности почвы различия между вариантами по значению температурных коэффициентов начинают проявляться с начала фазы бутонизации растения и достигают наибольших значений в период «цветение – начало отмирания ботвы». Способы посадки картофеля оказывают влияние на значения температурных коэффициентов с самого начала периода вегетационного развития (период всходы – начало бутонизации). В той или иной степени влияние способов посадки на значения температурных коэффициентов сохраняются до окончания вегетационного периода.

Наибольших значений температурные коэффициенты испарения влаги посадками раннего картофеля достигают в период «цветение – начало отмирания ботвы». На участках, где посадка клубней проводилась в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м, а инструментальный контроль влажности почвы был организован в зоне размещения растений (в рядке), температурные коэффициенты испарения влаги картофеля в этот период достигали  $0,237 \text{ мм}/^\circ\text{C}$ . В сочетании с высокой температурной напряженностью этого периода (а часть его приходится на самый жаркий месяц в регионе, - на июль) это обуславливает наибольшую интенсивность расхода воды на суммарное водопотребление и максимальную потребность в проведении оросительных мелиораций.

Таким образом, при использовании температурных коэффициентов для прогнозирования суммарного водопотребления раннего картофеля при спринклерном орошении следует учитывать способ посадки клубней и, соответственно, особенности формирования архитектоники посадок. При посадке картофеля в сдвоенный рядок с шириной междурядий  $0,9$  м и более необходима коррекция значений температурных коэффициентов в зависимости от зоны размещения инструментального контроля порога предполивной влажности почвы.

## **4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА КАРТОФЕЛЯ ПРИ СПРИНКЛЕРНОМ ОРОШЕНИИ**

### **4.1 Закономерности развития картофеля при разных способах посадки в условиях спринклерного орошения**

Динамика прохождения фаз роста и развития сельскохозяйственных культур, обусловлена, преимущественно, биологией растительного вида. Существенное влияние на динамику развития растительных видов оказал многолетний процесс окультуривания и селекции; выведены сорта, существенно отличающиеся продолжительностью вегетационного периода. Вместе с тем, динамика прохождения фазы роста и развития картофеля может существенно изменяться и под влиянием внешних факторов [43, 54].

Исследованиями неоднократно подтверждалось, что продолжительность межфазных периодов роста и развития картофеля (за исключением периода от посадки до всходов) и вегетационного периода в целом, как правило, прямо пропорциональна биологической продуктивности посадок [75, 107]. Это, в определенной мере, позволяет по динамике прохождения фаз роста и развития картофеля судить об оптимальности всей совокупности условий произрастания.

Опыты проводились с районированным сортом картофеля Импала, раннего срока созревания. Высадку клубней проводили при наступлении благоприятных метеорологических условий во вторую-третью декаду апреля. Средняя продолжительность периода от посадки до появления первых всходов в опытах составила 18 суток, а средняя продолжительность вегетационного периода – от 67 до 73 суток (таблица 4.1). Продолжительность периода от посадки до уборки картофеля, в среднем, не превышала 85-91 суток, что позволяет начать реализацию урожая уже во второй декаде июля.

Продолжительность периода от посадки клубней до получения массовых всходов не изменялась по вариантам опыта и варьировала только по годам исследований (приложения 1, 3, 5). В 2012 году всходы картофеля были получены уже

Таблица 4.1 - Продолжительность межфазных периодов роста и развития картофеля при спринклерном орошении, сут. (средняя за 2012-2014 гг.)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития						
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Начало отмирания ботвы - техническая спелость клубней	Посадка - техническая спелость клубней	Вегетационный период
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	18	21	10	26	11	86	68
	В2 (в междурядье)	18	21	10	26	11	86	68
	В3 (в рядке)	18	21	10	26	11	86	68
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	18	22	10	26	10	86	68
	В2 (в междурядье)	18	22	10	26	10	86	68
	В3 (в рядке)	18	22	10	26	10	86	68
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	18	23	10	27	11	89	71
	В2 (в междурядье)	18	23	10	25	10	85	67
	В3 (в рядке)	18	23	10	29	11	91	73
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	18	23	10	26	10	87	69
	В2 (в междурядье)	18	23	10	24	10	85	67
	В3 (в рядке)	18	23	10	28	11	89	71

на 16-й день после посадки клубней, а в 2014 году – только на 20-й день после посадки. Анализ метеорологической информации показывает, что изменения продолжительности периода «посадка- всходы» у картофеля тесно связаны с теплообеспеченностью периода. Например, в 2012 году, когда были получены самые ранние всходы, средняя температура воздуха в апреле составила 14,7 °С, в 2013 году – 10,2 °С, а в 2014 году, когда всходы были получены только на 20-й день после посадки, - 8,6 °С. Следует признать, что во все годы исследований были получены дружные всходы без выпадов и изреживания картофельных ценозов.

Период после всходов, до начала бутонизации картофеля характеризуется активным развитием корневой системы и формированием вегетативной части растений [138]. Завершение этого периода знаменуется фазой активного клубнеобразования. Продолжительность периода «всходы – начало бутонизации» в опытах, в среднем, изменялась от 21 до 23 суток, а с учетом вариаций по годам исследований – от 20 до 25 суток. Прохождение этого межфазного периода в регионе исследований приходится на первую – вторую декаду мая, когда поступление тепла остается нестабильным. В условиях, когда один из факторов жизни растений находится в минимуме, особое значение приобретает обеспеченность других факторов жизни, позволяющих максимально эффективно использовать ограниченные ресурсы. Исследования показали, что использование технологии «сдвоенного ряда» в сравнении с посадкой клубней в гребень через 0,7 м, способствует увеличению продолжительности периода «всходы – начало бутонизации» картофеля, в среднем, на 1-2 суток. По-видимому, это связано с улучшением кислородного питания корневой системы, обусловленного повышением общей аэрации почвы в «сдвоенном ряду».

Начало фазы бутонизации у картофеля совпадает с началом периода наиболее интенсивного роста вегетативной части растений и началом развития клубней [43]. Структура посадок в этот периода важна для роста и развития растений. Вместе с тем продолжительность периода «бутонизация – цветение» картофеля наиболее сильно обусловлено генотипом растений. В опытах продолжительность этого периода была одинаковой на всех вариантах. В среднем, от начала фазы бу-

тонизации до вступления более 75 % растений в фазу цветения проходило 10 суток. По годам исследований продолжительность этого периода также изменялась минимально, с 9 суток в 2014 году до 10 суток в 2012 и 2013 году.

Период с фазы цветения картофеля до окончания роста и начала отмирания ботвы характеризуется формированием большей части урожая клубней. Это достаточно продолжительный период, в который картофель предъявляет самые жесткие требования к условиям внешней среды. В тоже время прохождение этих фаз роста и развития картофеля в регионе исследований приходится на июнь и июль – самые жаркие и засушливые месяцы вегетационного периода. Высокие температуры воздуха и почвы ингибируют рост клубней даже у адаптированных сортов, районированных в регионе. В этих условиях проведение частых поливов способом низкоинтенсивного дождевания с использованием систем спринклерного орошения частично компенсирует влияние жаркого климата.

Продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы» в опытах изменялась, в среднем, от 24 до 29 суток. При посадке клубней в гребень при расстоянии между смежными гребнями 0,7 м средняя продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы» составила 26 суток. Такой же продолжительностью этого периода характеризовались варианты, где посадку картофеля проводили ленточным способом по технологии «сдвоенного рядка» с формулой 0,5×0,7 м (0,5 м – расстояние между рядками в ленте, 0,7 м – междурядное расстояние). При этом варианты, отличающиеся способом инструментального контроля порога предполивной влажности почвы, не оказывали влияние на продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы».

На участках, где картофель высаживали по технологии «сдвоенного рядка» с формулой посадки 0,5×0,9 м продолжительность рассматриваемого периода увеличилась, в среднем, на сутки при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы по смешанному типу (и в рядке и в междурядье, - контрольный вариант). В среднем за годы исследований при таком сочетании вариантов опыта продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы» составила 27 суток. При организации инструментального контроля предполивной



влажности почвы в междурядье продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы» сокращалась до 25 суток, что сутки меньше, чем на контроле по способу посадки картофеля. Таким образом проявляется взаимодействие факторов способа посадки картофеля и организации инструментального контроля порога предполивной влажности почвы при спринклерном орошении. Сокращение продолжительности периода «цветение – начало отмирания ботвы» в этом случае тесно коррелирует с увеличением продолжительности межполивных периодов, которое имело место при организации инструментального контроля влажности почвы в междурядье.

При организации инструментального контроля порога предполивной влажности почвы в рядке на участках варианта, где посадку клубней проводили в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы» составила 29 суток, что на 2 суток больше, чем при организации контроля порога предполивной влажности почвы по смешанному типу (и в рядке и в междурядье) и на 4 суток больше, чем при организации контроля предполивной влажности почвы в междурядье. Увеличение продолжительности периода «цветение – начало отмирания ботвы» в этом случае тесно коррелирует с сокращением продолжительности межполивных периодов, которое имело место при организации инструментального контроля влажности почвы в рядке.

На фоне контроля по способу организации инструментального мониторинга влажности почвы (по смешанному типу) переход к технологии посадки картофеля в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м сопровождался сокращением продолжительности периода «цветение – начало отмирания ботвы» до 26 суток. Это на сутки меньше, чем при посадке клубней в «сдвоенный рядок» по формуле  $0,5 \times 0,9$  м и, в среднем, соответствует контрольному варианту по способу посадки (в гребень через 0,7 м). На участках, где при посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м инструментальный контроль порога предполивной влажности почвы был организован в междурядье продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы» составила 24 суток. Это минимальная продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы», которая была за-

регистрирована в опыте. Вместе с тем, при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке, на участках вариантов, где посадку клубней проводили в «сдвоенный рядок» по формуле  $0,5 \times 1,1$  м, продолжительность периода «цветение – начало отмирания ботвы» составила, в среднем, 28 суток, что всего на сутки меньше, чем при посадке картофеля в «сдвоенный рядок» по формуле  $0,5 \times 0,9$  м.

Продолжительность периода от начала отмирания ботвы до наступления уборочной спелости клубней картофеля не превышала 10-11 суток, причем каких либо закономерностей по вариантам опыта выявлено не было.

Продолжительность вегетационного периода в опытах изменялась от 67 до 73 суток. Закономерности, по которым продолжительность вегетационного периода изменялась по вариантам опыта, формировались, преимущественно, в период «цветение – начало отмирания ботвы» и полностью им соответствуют. Наименьшей продолжительностью вегетационного периода, 67 суток, в опытах характеризовались посадки картофеля на участке, где посадку клубней проводили в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м в сочетании с организацией инструментального контроля порога предполивной влажности почвы в междурядье. Наибольшей продолжительностью вегетационного периода, 73 суток, в опытах характеризовались посадки картофеля на участке, где посадку клубней проводили в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м в сочетании с организацией инструментального контроля порога предполивной влажности почвы в рядке.

Таким образом, динамика прохождения межфазных периодов роста и развития картофеля существенно зависит как от способа посадки, так и от организации инструментального контроля порога предполивной влажности почвы, а также имеет место взаимодействие этих факторов. Влияние вариантов организации инструментального контроля порога предполивной влажности почвы на продолжительность межфазных периодов проявляется только в сочетании с посадкой картофеля в «сдвоенный рядок» по формуле  $0,5 \times 0,9$  м или  $0,5 \times 1,1$  м ( то есть при междурядном расстоянии 0,9 м и более). Наибольшие изменения динамики прохождения

межфазных периодов роста и развития картофеля по вариантам опыта зарегистрированы с фазы массового цветения картофеля.

#### **4.2 Фотосинтетическая активность картофеля при спринклерном орошении**

Фотосинтез является основным процессом, как формирования органического вещества, так и накопления энергии, необходимой для осуществления всех физиологических процессов в растении. Хозяйственно ценная часть урожая также является частью накопленного и структурированного органического вещества, синтезированного в растениях в результате этого процесса. В связи с этим, показатели фотосинтетической активности растений, в том числе и картофеля, следует считать главными критериями эффективности продукционного процесса в целом.

Показатели фотосинтеза в опыте определяли биометрическими методами. Эти методы включают прямое измерение площади листовой поверхности и расчет по этим значениям фотосинтетического потенциала, а также систематическая оценка накопленного сухого вещества с использованием этих значений для определения чистой продуктивности фотосинтеза. Чистая продуктивность фотосинтеза подразумевает собой разность между, собственно, продуктивностью фотосинтеза и дыханием растения, протекающими в растении одновременно. Такой подход снижает общую информативность оценки, но позволяет в полной мере исследовать результат взаимодействия этих двух процессов. Собственно, чем больше разность между значениями этих двух показателей, тем выше эффективность фотосинтеза. Это позволяет судить о факторах, повышающих или снижающих фотосинтетическую активность посадок картофеля.

Формирование площади листового аппарата напрямую связано с развитием вегетативной части растения. С позиций фотосинтеза листовой аппарат определяет потенциальную производственную мощность растений по новообразованию органического вещества. В этом смысле важна не только площадь поверхности листьев картофеля, но и продолжительность его нахождения в дневной фазе су-

ток. Показателем, учитывающим динамику развития листового аппарата и продолжительность нахождения листовой поверхности в условиях освещения, является фотосинтетический потенциал.

Показатели площади листьев и фотосинтетического потенциала картофеля не только тесно связаны между собой, но и существенно дополняют друг друга с точки зрения получения полезной информации. Поэтому и рассматривать их динамику целесообразно в совокупности. Результаты трехлетних исследований динамики развития листового аппарата картофеля и оценки фотосинтетического потенциала посадок приведены в таблицах 4.2-4.5, приложениях 7,9,11 и на рисунках 4.1-4.2.

В фазу массовых всходов площадь листьев картофеля сравнительно не велика и составляет в среднем 4,0-4,8 тыс. м<sup>2</sup>/га (таблица 4.2); по годам исследований отмечены лишь небольшие изменения этих значений (приложения 7,9,11). На всех вариантах опыта были получены выравненные всходы, однако из-за разной густоты посадок, связанной с условиями эксперимента, площадь листьев изменялась, в среднем, от 4,0 тыс. м<sup>2</sup>/га при посадке в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×1,1 м до 4,8 тыс. м<sup>2</sup>/га при посадке в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,7 м. На участках, где посадку картофеля проводили в гребень через 0,7 м и в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,9 м, средняя площадь листьев при всходах составила 4,4 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Рост и развитие картофеля после всходов характеризуется интенсивным формированием вегетативной части растений. Подтверждением этого является динамика развития листового аппарата в опытных посадках картофеля; площадь листьев к началу фазы бутонизации достигла, в среднем, 20,4-24,8 тыс. м<sup>2</sup>/га. Фотосинтетический потенциал картофеля за период «всходы – начало бутонизации» составил, в среднем, 285-326 тыс. м<sup>2</sup>дн./га.

Сравнимые значения, 263-331 тыс. м<sup>2</sup>дн./га, фотосинтетического потенциала формируются за период «начало бутонизации – фаза массового цветения». Продолжительность этого периода невелика, 9-10 суток, однако мощный ассимиляционный аппарат и продолжение активного роста площади листьев позволяют

Таблица 4.2 - Динамика развития ассимиляционного аппарата картофеля при разных способах посадки в зависимости от варианта контроля влажности почвы, тыс. м<sup>2</sup>/га (средняя за 2012-2014 гг.)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубней
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	4,4	23,4	37,1	34,4	12,8
	В2 (в междурядье)	4,4	23,4	36,9	34,4	12,7
	В3 (в рядке)	4,4	23,4	37,1	34,6	12,8
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	4,8	24,8	39,3	35,5	13,5
	В2 (в междурядье)	4,8	24,8	39,2	35,4	13,4
	В3 (в рядке)	4,8	24,8	39,4	35,6	13,5
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	4,4	23,9	42,1	36,7	13,7
	В2 (в междурядье)	4,4	23,9	38,4	35,4	13,6
	В3 (в рядке)	4,4	23,9	44,6	38,8	13,9
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	4,0	20,4	37,3	33,4	13,1
	В2 (в междурядье)	4,0	20,4	34,2	31,4	13,0
	В3 (в рядке)	4,0	20,4	41,2	37,8	13,1

Таблица 4.3 - Максимальная площадь листьев в посадках картофеля по вариантам опыта, тыс. м<sup>2</sup>/га

Вариант способа посадки картофеля	Вариант контроля влажности почвы	Максимальная площадь листьев, S, тыс. м <sup>2</sup> /га				Δ S в зависимости от варианта контроля влажности почвы		Вариант контроля влажности почвы	Вариант способа посадки картофеля	Максимальная площадь листьев, S, тыс. м <sup>2</sup> /га	Δ S в зависимости от способа посадки картофеля	
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	Средняя	тыс. м <sup>2</sup> /га	%				тыс. м <sup>2</sup> /га	%
А1 (контроль)	В1 (контроль)	35,2	37,8	38,4	37,1	–	–	В1	А1 (контроль)	37,1	–	–
	В2	34,9	37,4	38,4	36,9	-0,2	-0,5		А2	39,3	2,2	5,9
	В3	35,4	37,4	38,6	37,1	0,0	0,0		А3	42,1	5,0	13,5
А2	В1	37,9	38,9	41,2	39,3	–	–	В2	А4	37,3	0,2	0,5
	В2	37,7	38,8	41,2	39,2	-0,1	-0,3		А1	36,9	–	–
	В3	38,0	38,9	41,2	39,4	0,1	0,3		А2	39,2	2,3	6,2
А3	В1	41,4	41,1	43,7	42,1	–	–	В3	А3	38,4	1,5	4,1
	В2	35,6	38,8	40,7	38,4	-3,7	-8,8		А4	34,2	-2,7	-7,3
	В3	43,4	44,7	45,7	44,6	2,5	5,9		А1	37,1	–	–
А4	В1	35,0	38,7	38,1	37,3	–	–	В3	А2	39,4	2,3	6,2
	В2	30,1	35,5	36,9	34,2	-3,1	-8,3		А3	44,6	7,5	20,2
	В3	39,2	41,3	43,2	41,2	3,9	10,5		А4	41,2	4,1	11,1

Таблица 4.4 - Динамика накопления фотосинтетического потенциала картофеля при спринклерном орошении, тыс. м<sup>2</sup>дн./га (средняя за 2012-2014 гг.)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы – начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение – начало отмирания ботвы	Начало отмирания ботвы – техническая спелость клубня	Вегетационный период
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	296	292	942	251	1782
	В2 (в междурядье)	296	291	939	251	1778
	В3 (в рядке)	296	293	945	252	1786
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	326	309	961	245	1841
	В2 (в междурядье)	326	309	959	244	1838
	В3 (в рядке)	326	310	962	245	1843
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	326	319	1076	268	1989
	В2 (в междурядье)	326	301	924	236	1786
	В3 (в рядке)	326	331	1224	289	2170
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	285	279	931	240	1734
	В2 (в междурядье)	285	263	801	215	1563
	В3 (в рядке)	285	298	1069	272	1923

Таблица 4.5 - Фотосинтетический потенциал картофеля при разных способах посадки в зависимости от варианта контроля влажности почвы, тыс. м<sup>2</sup>дней/га

Вариант способа посадки картофеля	Вариант контроля влажности почвы	Фотосинтетический потенциал картофеля, Фр, тыс. м <sup>2</sup> дн./га				Δ Фр в зависимости от варианта контроля влажности почвы		Вариант контроля влажности почвы	Вариант способа посадки картофеля	Фотосинтетический потенциал, Фр, тыс. м <sup>2</sup> дн./га	Δ Фр в зависимости от способа посадки картофеля	
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	Средняя	тыс. м <sup>2</sup> дн./га	%				тыс. м <sup>2</sup> дн./га	%
А1 (контроль)	В1 (контроль)	1695	1799	1853	1782	–	–	В1	А1 (контроль)	1782	–	–
	В2	1684	1797	1853	1778	-4	-0,2		А2	1841	59	3,3
	В3	1700	1797	1861	1786	4	0,2		А3	1989	207	11,6
А2	В1	1760	1845	1918	1841	–	–	В2	А4	1734	-48	-2,7
	В2	1753	1840	1922	1838	-3	-0,2		А1	1778	–	–
	В3	1762	1845	1922	1843	2	0,1		А2	1838	60	3,4
А3	В1	1914	1987	2066	1989	–	–	В3	А3	1786	8	0,4
	В2	1670	1796	1893	1786	-203	-10,2		А4	1563	-215	-12,1
	В3	2084	2171	2256	2170	181	9,1		А1	1786	–	–
А4	В1	1643	1733	1827	1734	–	–	В3	А2	1843	57	3,2
	В2	1405	1587	1698	1563	-171	-9,9		А3	2170	384	21,5
	В3	1796	1926	2047	1923	189	10,9		А4	1923	137	7,7



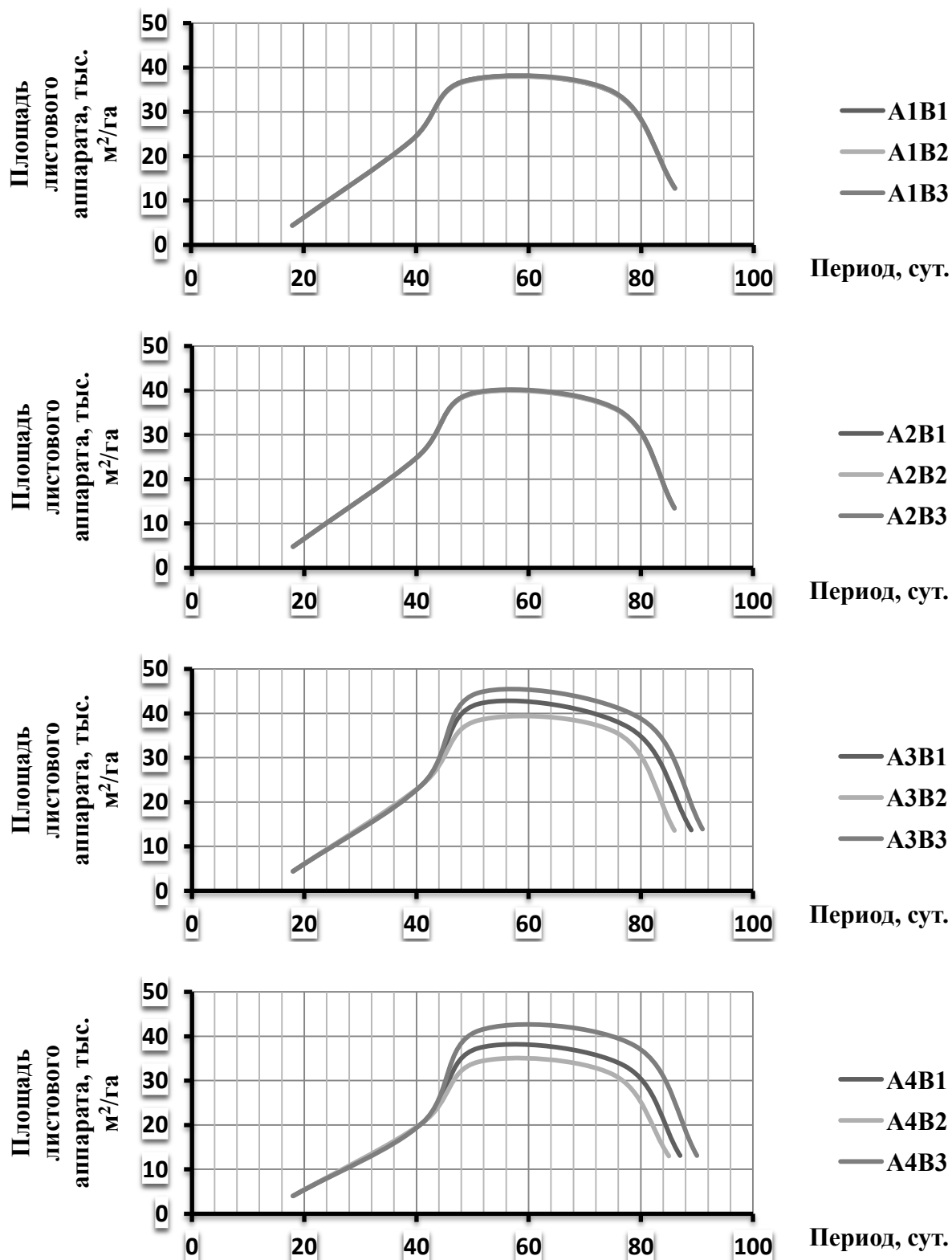
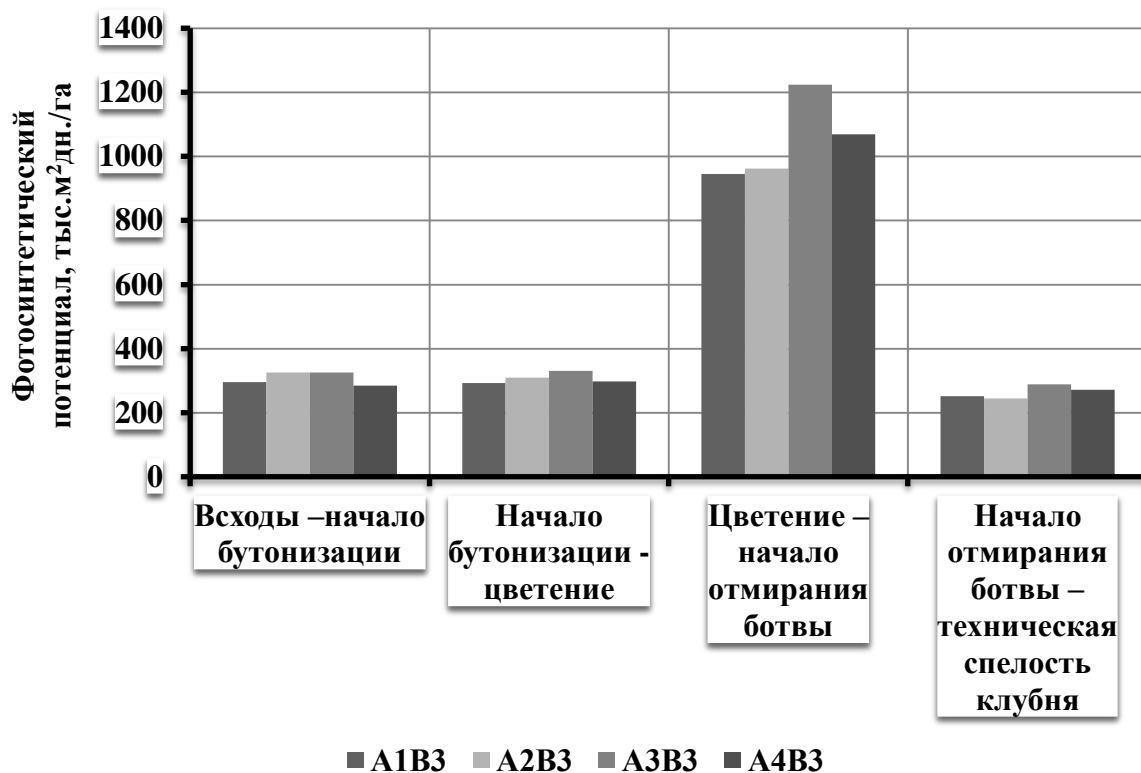
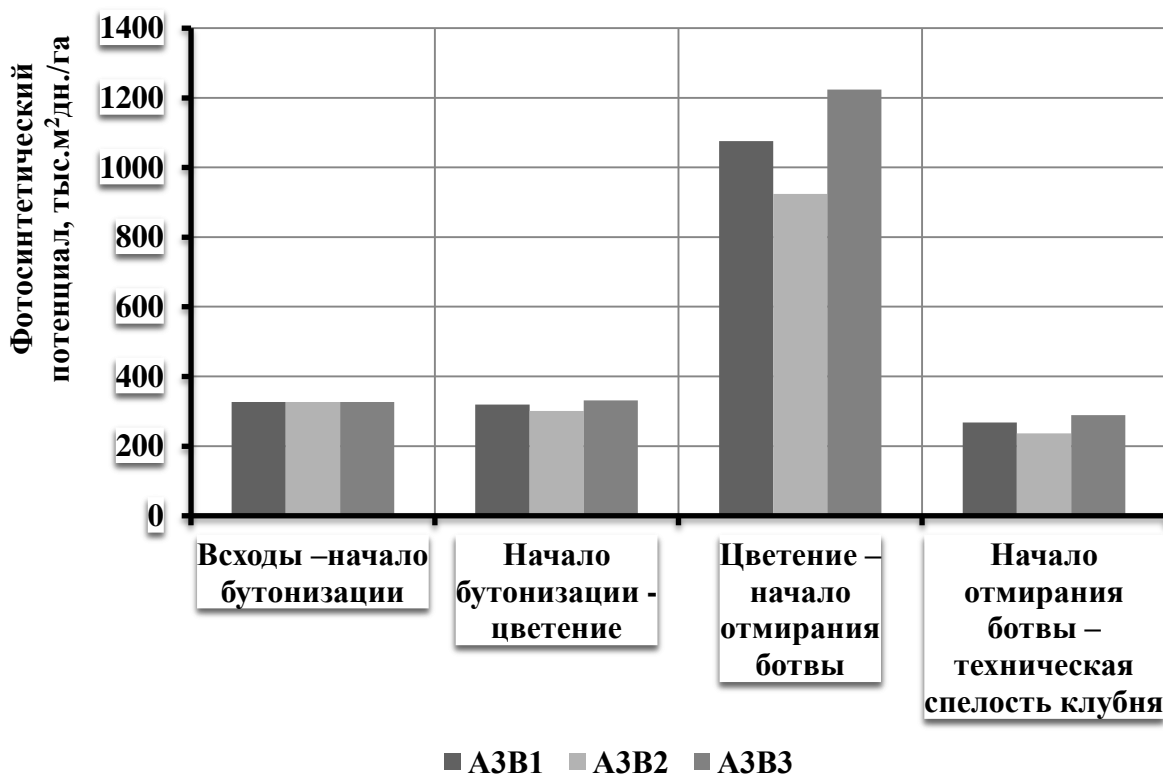


Рисунок 4.1 - Динамика развития площади листового аппарата картофеля по вариантам опыта (по средним за 2012-2014 гг данным)



а)



б)

Рисунок 4.2 - Динамика накопления фотосинтетического потенциала картофеля в зависимости от способа посадки (а) и способа контроля предполивной влажности почвы (б)

картофелю сформировать практически такой фотосинтетический потенциал, как и за 21-23 дня периода от всходов до начала фазы бутонизации.

Исследования показали, что накопление фотосинтетического потенциала в период «начало бутонизации – фаза массового цветения» происходит неодинаково на делянках разных вариантов. При этом динамика накопления фотосинтетического потенциала в этот период зависит как от применяемого способа посадки, так и от используемого способа контроля предполивного порога влажности почвы. Наибольший фотосинтетический потенциал, 331 тыс. м<sup>2</sup>дн./га, за период «начало бутонизации – фаза массового цветения» картофелем накапливался на участках, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,9 м, а инструментальный контроль порога предполивной влажности почвы осуществляли в зоне размещения растений (в рядке). Наименьший фотосинтетический потенциал, 263 тыс. м<sup>2</sup>дн./га, за период «начало бутонизации – фаза массового цветения» был сформирован на участках, где при посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×1,1 м инструментальный контроль порога предполивной влажности почвы осуществляли в междурядье.

Максимальная площадь листьев у картофеля формируется в период массового цветения, чему способствует активный рост ассимиляционного аппарата в фазу бутонизации. Значения максимальной площади листьев, как правило, коррелирует с общим ходом развития ассимиляционного аппарата и накопления фотосинтетического потенциала. В опытах максимальные значения площади листьев изменялись по вариантам, в среднем, от 34,2 тыс. м<sup>2</sup>/га до 44,6 тыс. м<sup>2</sup>/га (таблица 4.3). Это достаточно большой диапазон варьирования максимальной площади листьев, обуславливающий существенные различия в формировании фотосинтетического потенциала посадок.

Исследования показали, что максимальные значения площади листьев картофеля при посадке в гребень через 0,7 м формируются на уровне 36,9-37,1 тыс. м<sup>2</sup>/га с вариацией по годам в пределах 5 %. Переход к ленточному способу посадки картофеля (в «сдвоенный» рядок) с междурядным расстоянием 0,7 м (формула посадки 0,5×0,7 м) в среднем за годы исследований увеличило максимальные зна-

чения площади сформированного листового аппарата до 39,2-39,4 тыс. м<sup>2</sup>/га, преимущественно, за счет увеличения густоты посадок.

Густота посадок картофеля на участках, где картофель высаживали в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,9 м была практически равной контрольному варианту (с посадкой в гребень через 0,7 м). Однако максимальная площадь листьев картофеля на участках этого варианта увеличилась до 38,4 – 44,6 тыс. м<sup>2</sup>/га, преимущественно, за счет интенсивного развития вегетативной части растений. Характерно, что если при посадке картофеля в гребень через 0,7 м и в «сдвоенный» рядок с междурядьем 0,7 м (формула посадки 0,5×0,7 м) максимальные значения площади листьев сохранялись на делянках с разными способами контроля предполивной влажности почвы, то при посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,9 м этот фактор приобретал определяющее значение. Например, при организации контроля предполивной влажности почвы по смешанному типу (инструментальный контроль и в рядке и в междурядье) на фоне посадки в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м максимальная площадь листьев картофеля составила 42,1 тыс. м<sup>2</sup>/га, что на 13,5 % больше, чем на контроле. При организации контроля предполивной влажности почвы в междурядье (по схеме варианта В2) на фоне посадки в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м максимальная площадь листьев картофеля формировалась на уровне 38,4 тыс. м<sup>2</sup>/га, что лишь на 4,1 % отличается от контрольного варианта. В тоже время при организации контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) на фоне посадки в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м максимальная площадь листьев картофеля достигала 44,6 тыс. м<sup>2</sup>/га, что на 20,2 % превышает значения максимальной площади листьев на контрольном варианте.

Эта закономерность сохранялась и на участках с еще большим междурядным расстоянием, где посадку картофеля проводили по технологии «сдвоенного» рядка по формуле 0,5×1,1 м. Сочетание такой схемы посадки с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке также обеспечивало формирование наибольшей площади листьев, 41,2 тыс. м<sup>2</sup>/га, а при организации контроля предполивной влажности почвы в междурядье максимальные

значения площади листьев картофеля были наименьшими, 34,2 тыс. м<sup>2</sup>/га. Установлено, что максимальные значения площади листьев картофеля на участках с ленточной схемой посадки и междурядьем 1,1 м (формула посадки 0,5×1,1 м) существенно снижаются по отношению к максимальным значениям площади листьев картофеля на участках, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок с междурядьем 0,9 м. Последнее, в определенной мере, объясняется изреженностью посадок, при которой даже активный рост вегетативной части растений не обеспечивает увеличения проективного покрытия.

Процессы новообразования и роста листьев картофеля не прекращаются и после фазы цветения. Посадкам картофеля это позволяет сохранить высокий уровень проективного покрытия еще 3-4 недели, вплоть до активизации процессов некроза вегетативной части в начале фазы отмирания ботвы. К началу этой фазы площадь листьев опытных посадок картофеля составляла 31,4-38,8 тыс. м<sup>2</sup>/га, существенно изменяясь по вариантам.

Близкие значения, 34,4-35,6 тыс. м<sup>2</sup>/га, площади листьев к началу фазы отмирания ботвы сохранялись на участках вариантов, где посадку проводили в гребень, через 0,7 м, или в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,7 м. Такой же уровень проективного покрытия, 35,4 тыс. м<sup>2</sup>/га, по площади листового аппарата картофеля был получен на участках, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,9 м в сочетании с организацией инструментального контроля порога предполивной влажности почвы в междурядье.

Использование способа посадки картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,9 м в сочетании с организацией инструментального контроля порога предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) способствует максимально эффективному сохранению листового аппарата, что подтверждается наибольшими значениями площади листьев, 38,8 тыс. м<sup>2</sup>/га, полученными на участках этого варианта.

Наименьшей площадью листовой поверхности, 31,4 тыс. м<sup>2</sup>/га, к началу фазы отмирания ботвы посадки картофеля характеризовались на участках варианта, где инструментальный контроль предполивной влажности почвы осуществляли в

междурядье в сочетании с использованием способа посадки в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м. Отмечено, что при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) на фоне посадки картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м площадь листового аппарата составляет 37,8 тыс.  $\text{м}^2/\text{га}$ , что на 6,4 тыс.  $\text{м}^2/\text{га}$  больше, чем при контроле предполивной влажности почвы в междурядье.

Мощное развитие и устойчивое сохранение площади листового аппарата картофеля в период «цветение – начало отмирания ботвы» в опытах способствовало накоплению 801-1224 тыс.  $\text{м}^2\text{дн.}/\text{га}$  фотосинтетического потенциала (таблица 4.4, рисунок 4.2). Это более чем в 3 раза больше значений фотосинтетического потенциала, накопленного за любой из прочих рассматриваемых межфазных периодов. За вегетационный период опытными посадками картофеля накапливалось 1563 – 2170 тыс.  $\text{м}^2\text{дн.}/\text{га}$  фотосинтетического потенциала (таблица 4.5).

На контроле по способу посадки (в гребень через 0,7 м) фотосинтетический потенциал за вегетационный период картофеля формировался на уровне 1778-1786 тыс.  $\text{м}^2\text{дн.}/\text{га}$ , практически не различаясь на участках с разными вариантами зон контроля предполивной влажности почвы. Чуть больше, 1838-1843 тыс.  $\text{м}^2\text{дн.}/\text{га}$ , фотосинтетического потенциала было накоплено картофелем при посадке в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м. На участках, где посадку картофеля проводили в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м, значения фотосинтетического потенциала изменялись от 1786 тыс.  $\text{м}^2\text{дн.}/\text{га}$  при организации контроля предполивной влажности почвы в междурядьях (вариант В2) до 2170 тыс.  $\text{м}^2\text{дн.}/\text{га}$  при организации контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (вариант В3).

Наименьшие значения фотосинтетического потенциала картофеля, 1563 тыс.  $\text{м}^2\text{дн.}/\text{га}$ , за вегетационный период были получены при посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м в сочетании с последующим контролем предполивной влажности почвы в междурядьях. В тоже время при организации зон контроля предполивной влажности почвы в рядке в сочетании с посадкой в

«сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м обеспечило формирование 1923 тыс.  $\text{м}^2\text{дн./га}$  фотосинтетического потенциала.

Таким образом, на лучших вариантах фотосинтетический потенциал раннего картофеля достигает 2170 тыс.  $\text{м}^2\text{дн./га}$ , причем больше половины указанного значения накапливается посадками в период «цветение – начало отмирания ботвы».

Показателем, характеризующим эффективность использования накопленного картофелем фотосинтетического потенциала, является чистая продуктивность фотосинтеза. В опытах чистую продуктивность фотосинтеза определяли по фазам роста и развития, что позволяет отследить эффективность использования фотосинтетического потенциала картофеля по мере его накопления (таблица 4.6, рисунок 4.3).

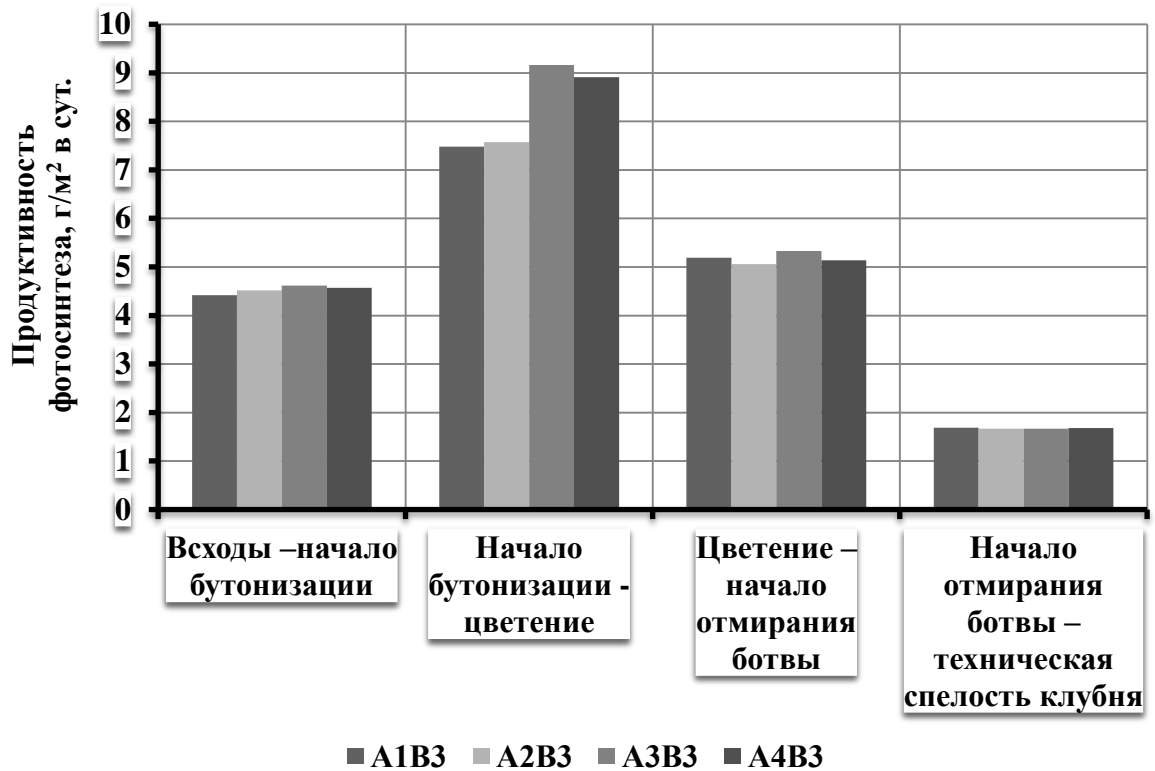
В начальные периоды роста и развития картофеля, до фазы бутонизации, фотосинтетическая активность картофеля относительно невысока. При слабой динамике накопления фотосинтетического потенциала значения чистой продуктивности фотосинтеза, определенные за период «всходы-начало бутонизации», не превышали  $4,42\text{--}4,62$   $\text{г/м}^2$  в сут. По вариантам опыта отмечены лишь небольшие изменения продуктивности фотосинтеза и общая тенденция к повышению фотосинтетической активности на участках, где картофель высаживали в «сдвоенный» рядок. Однако уже в следующий период, с началом фазы бутонизации, чистая продуктивность фотосинтеза картофеля существенно возростала, достигая максимальных за вегетацию значений. По вариантам опыта за период «начало бутонизации – цветение» чистая продуктивность фотосинтеза картофеля изменялась от  $7,01$  до  $9,16$   $\text{г/м}^2$  в сут. Как видно из приведенных данных, условия, определяющие различия вариантов опыта в этот период уже оказывают существенное влияние на продуктивность фотосинтеза картофеля.

На контроле по способу посадки (в гребень, через  $0,7$  м) значения чистой продуктивности фотосинтеза в период «начало бутонизации – цветение» достигали  $7,47\text{--}7,48$   $\text{г/м}^2$  в сут. Почти не отличались значения чистой продуктивности фотосинтеза картофеля и на участках, где посадку проводили по технологии

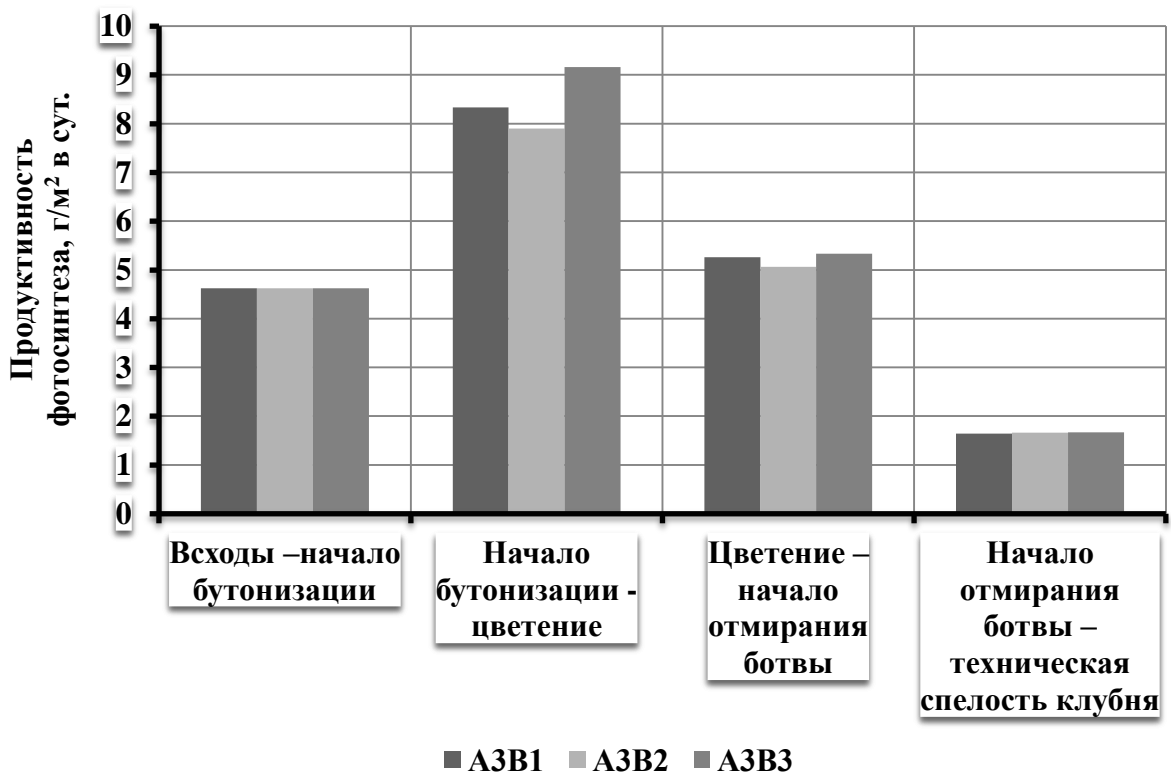
Таблица 4.6 - Продуктивность фотосинтеза в посадках картофеля при спринклерном орошении, г/м<sup>2</sup> в сут. (средняя за 2012-2014 гг.)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы – начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение – начало отмирания ботвы	Начало отмирания ботвы – техническая спелость клубня	Вегетационный период
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	4,42	7,48	5,16	1,69	5,06
	В2 (в междурядье)	4,42	7,47	5,18	1,69	5,07
	В3 (в рядке)	4,42	7,48	5,19	1,69	5,07
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	4,52	7,58	5,05	1,66	5,06
	В2 (в междурядье)	4,52	7,58	5,04	1,66	5,05
	В3 (в рядке)	4,52	7,57	5,06	1,67	5,06
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	4,62	8,33	5,26	1,64	5,28
	В2 (в междурядье)	4,62	7,90	5,06	1,66	5,14
	В3 (в рядке)	4,62	9,16	5,33	1,67	5,43
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	4,57	7,83	5,02	1,66	5,07
	В2 (в междурядье)	4,57	7,01	4,77	1,62	4,82
	В3 (в рядке)	4,57	8,91	5,14	1,68	5,27





а)



б)

Рисунок 4.3 - Фотосинтетическая активность картофеля в зависимости от способа посадки (а) и способа контроля предполивной влажности почвы (б)

«сдвоенного» рядка с использованием формулы  $0,5 \times 0,7$  м ( $7,57-7,58$  г/м<sup>2</sup> в сут.). Но при использовании способа посадки в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м в зависимости от зоны размещения инструментального контроля предполивной влажности почвы значения чистой продуктивности фотосинтеза изменялись от  $7,90$  до  $9,16$  г/м<sup>2</sup> в сут. Максимальные, в среднем –  $9,16$  г/м<sup>2</sup> в сут., значения чистой продуктивности фотосинтеза в этот период обеспечивались на участках, где при посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м инструментальный контроль предполивной влажности почвы осуществляли в зоне размещения растений (в рядке).

Минимальные значения чистой продуктивности фотосинтеза,  $7,01$  г/м<sup>2</sup> в сут., в этот период были получены в вариантах с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье при посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м. Отмечено, что организация инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) позволяет повысить чистую продуктивность фотосинтеза картофеля до  $8,91$  г/м<sup>2</sup> в сут. даже при посадке в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м.

Максимальные значения чистой продуктивности фотосинтеза картофеля сохраняются относительно короткий промежуток времени, в течении которого посадками накапливалось не более  $330$  тыс. м<sup>2</sup>дн./га фотосинтетического потенциала. В тоже время за период «цветение – начало отмирания ботвы» картофелем накапливается до  $801 - 1224$  тыс. м<sup>2</sup>дн./га фотосинтетического потенциала. Это определяет особую значимость задачи сохранения высоких значений чистой продуктивности фотосинтеза картофеля в период «цветение – начало отмирания ботвы».

Расчеты показали, что наибольшую фотосинтетическую активность посадки картофеля в период «цветение – начало отмирания ботвы» сохраняют при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) на участках, где посадку проводили по технологии «сдвоенного» рядка с применением формулы  $0,5 \times 1,1$  м. Значения чистой продуктивности фотосинтеза при этом, в среднем, составили  $5,33$  г/м<sup>2</sup> в сут. Это на  $0,14-$

0,17 г/м<sup>2</sup> в сут. больше, чем при посадке картофеля в гребень через 0,7 м и на 0,27-0,29 г/м<sup>2</sup> в сут. больше, чем при посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м. Следует признать, что даже при посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м, но при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье, средние значения чистой продуктивности фотосинтеза картофеля в период «цветение – начало отмирания ботвы» снижались до 5,06 г/м<sup>2</sup> в сут., что меньше, чем на контроле по способу посадки.

Наименьшие значения чистой продуктивности фотосинтеза картофеля, 4,77 г/м<sup>2</sup> в сут., в период «цветение – начало отмирания ботвы» были отмечены на участках, где посадку картофеля проводили по технологии «сдвоенного» рядка с использованием формулы 0,5×0,9 м в сочетании с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье.

С началом фазы отмирания ботвы продуктивность фотосинтеза картофеля резко падает, вследствие чего начинают преобладать процессы некроза и перераспределения органического вещества в растении.

В среднем за вегетационный период значения чистой продуктивности фотосинтеза картофеля изменялись от 4,82 до 5,43 г/м<sup>2</sup> в сут. (таблица 4.7). Анализ приведенных в таблице данных показывает, что при посадке картофеля в гребень через 0,7 м или в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,7 м, изменение зоны контроля предполивной влажности почвы не оказывает влияние на средние за вегетацию значения чистой продуктивности фотосинтеза. Однако, при увеличении междурядного расстояния до 0,9 м и 1,1 м на участках, где картофель высаживали по технологии сдвоенного рядка, обоснование зоны размещения инструментального контроля предполивной влажности почвы, безусловно, необходимо. Например, при посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,9 м переход со смешанного способа контроля предполивной влажности почвы (в рядке и в междурядье) к размещению зоны инструментального контроля в междурядье сопровождался общим снижением средних значений чистой продуктивности фотосинтеза на 0,14 г/м<sup>2</sup> в сут. В тоже время переход со смешанного способа контроля предполивной влажности почвы (в рядке и в междурядье) к размещению зоны

Таблица 4.7 - Фотосинтетическая активность картофеля при разных способах посадки в зависимости от варианта контроля влажности почвы, г/м<sup>2</sup> в сут.

Вариант способа посадки картофеля	Вариант контроля влажности почвы	Продуктивность фотосинтеза картофеля, рф, г/м <sup>2</sup> в сут.				Δ рф в зависимости от варианта контроля влажности почвы		Вариант контроля влажности почвы	Вариант способа посадки картофеля	Продуктивность фотосинтеза, рф, г/м <sup>2</sup> в сут.	Δ рф в зависимости от способа посадки картофеля	
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	Средняя	г/м <sup>2</sup> в сут.	%				г/м <sup>2</sup> в сут.	%
А1 (контроль)	В1 (контроль)	4,95	5,09	5,14	5,06	–	–	В1	А1 (контроль)	5,06	–	–
	В2	4,95	5,12	5,14	5,07	0,01	0,2		А2	5,06	0,00	0,0
	В3	4,95	5,12	5,15	5,07	0,01	0,2		А3	5,28	0,22	4,3
А2	В1	4,91	5,06	5,21	5,06	–	–	В2	А4	5,07	0,01	0,2
	В2	4,90	5,05	5,21	5,05	-0,01	-0,2		А1	5,07	–	–
	В3	4,90	5,06	5,21	5,06	0,00	0,0		А2	5,05	-0,02	-0,4
А3	В1	5,21	5,25	5,39	5,28	–	–	В3	А3	5,14	0,07	1,4
	В2	5,01	5,08	5,32	5,14	-0,14	-2,7		А4	4,82	-0,25	-4,9
	В3	5,37	5,47	5,44	5,43	0,15	2,8		А1	5,07	–	–
А4	В1	5,03	5,18	4,99	5,07	–	–	В3	А2	5,06	-0,01	-0,2
	В2	4,73	4,90	4,84	4,82	-0,25	-4,9		А3	5,43	0,36	7,1
	В3	5,35	5,31	5,15	5,27	0,20	3,9		А4	5,27	0,20	3,9

инструментального контроля в рядке позволил повысить средние значения чистой продуктивности фотосинтеза картофеля на  $0,15 \text{ г/м}^2$  в сут. При посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$  указанные закономерности сохранялись и проявлялись еще в большей степени.

Таким образом, фотосинтетическая активность картофеля при спринклерном орошении зависит как от способа и формулы посадки, так и от способа организации инструментального контроля предполивной влажности почвы. Наибольшей фотосинтетической активностью картофель отличался на участках опыта, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок с использованием формулы  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$ , а инструментальный контроль предполивной влажности почвы проводили в зоне размещения растений (в рядке). Это позволило за вегетацию сформировать максимальную площадь листового аппарата картофеля на уровне  $44,6 \text{ тыс. м}^2/\text{га}$ , накопить  $2170 \text{ тыс. м}^2\text{дн./га}$  фотосинтетического потенциала при среднем значении чистой продуктивности фотосинтеза на уровне  $5,43 \text{ г/м}^2$  в сут.

#### **4.3 Динамика накопления и особенности распределения биомассы картофеля в зависимости от способа посадки и положения зоны контроля предполивной влажности почвы**

Итогом и главным критерием эффективности фотосинтетической деятельности растений в посевах является динамика накопления органического вещества. Собственно, синтез, накопление и перераспределение органического вещества в растении являются основными процессами, в результате которых формируется урожай. В опытах накопление сухой биомассы регистрировали дифференцированно, для вегетативной части растения и для клубней. Исследование суммарно накопленной массы сухого вещества в растениях картофеля проводилось по фазно, в течение вегетационного периода. Результаты исследования динамики накопления сухой биомассы картофеля для каждого из вариантов опыта приведены в таблицах 4.8-4.10, на рисунках 4.4-4.6 и в приложениях 13,15, 17. Масса материнского клубня в исследованиях не учитывалась.

Таблица 4.8 - Динамика накопления сухой биомассы посадками картофеля при спринклерном орошении, т/га (средняя за 2012-2014 гг.)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,25	1,56	3,75	8,60	9,02
	В2 (в междурядье)	0,25	1,56	3,74	8,59	9,02
	В3 (в рядке)	0,25	1,56	3,75	8,64	9,06
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,27	1,72	4,06	8,91	9,32
	В2 (в междурядье)	0,27	1,72	4,06	8,89	9,30
	В3 (в рядке)	0,27	1,72	4,06	8,92	9,33
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,25	1,75	4,41	10,07	10,51
	В2 (в междурядье)	0,25	1,75	4,13	8,80	9,19
	В3 (в рядке)	0,25	1,75	4,78	11,30	11,78
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,23	1,55	3,73	8,39	8,78
	В2 (в междурядье)	0,23	1,55	3,40	7,20	7,55
	В3 (в рядке)	0,23	1,55	4,20	9,67	10,13

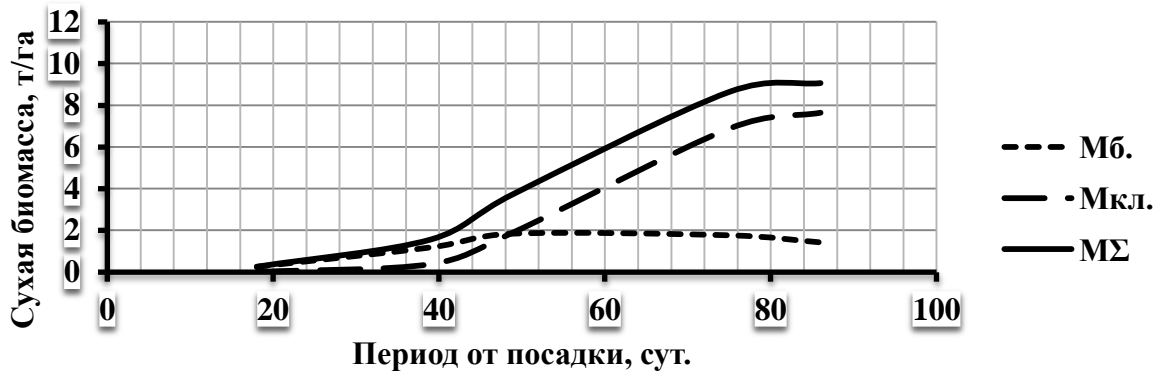
Таблица 4.9 - Интегральные значения накопленной биомассы картофеля при разных способах посадки в зависимости от варианта контроля влажности почвы, т/га

Вариант способа посадки картофеля	Вариант контроля влажности почвы	Сухая биомасса, М, т/га				Δ М в зависимости от варианта контроля влажности почвы		Вариант контроля влажности почвы	Вариант способа посадки картофеля	Сухая биомасса, М, т/га	Δ М в зависимости от способа посадки картофеля	
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	Средняя	т/га	%				т/га	%
А1 (контроль)	В1 (контроль)	8,39	9,17	9,52	9,02	–	–	В1	А1 (контроль)	9,02	–	–
	В2	8,33	9,20	9,52	9,02	0,00	0,0		А2	9,32	0,30	3,3
	В3	8,40	9,20	9,59	9,06	0,04	0,4		А3	10,51	1,49	16,5
А2	В1	8,63	9,33	9,99	9,32	–	–	В2	А4	8,78	-0,24	-2,7
	В2	8,59	9,29	10,01	9,30	-0,02	-0,2		А1	9,02	–	–
	В3	8,64	9,33	10,02	9,33	0,01	0,1		А2	9,30	0,28	3,1
А3	В1	9,96	10,43	11,13	10,51	–	–	В3	А3	9,19	0,17	1,9
	В2	8,37	9,13	10,08	9,19	-1,32	-12,6		А4	7,55	-1,47	-16,3
	В3	11,18	11,88	12,28	11,78	1,27	12,1		А1	9,06	–	–
А4	В1	8,27	8,98	9,11	8,78	–	–	В3	А2	9,33	0,27	3,0
	В2	6,65	7,78	8,22	7,55	-1,23	-14,0		А3	11,78	2,72	30,0
	В3	9,61	10,23	10,54	10,13	1,35	15,4		А4	10,13	1,07	11,8

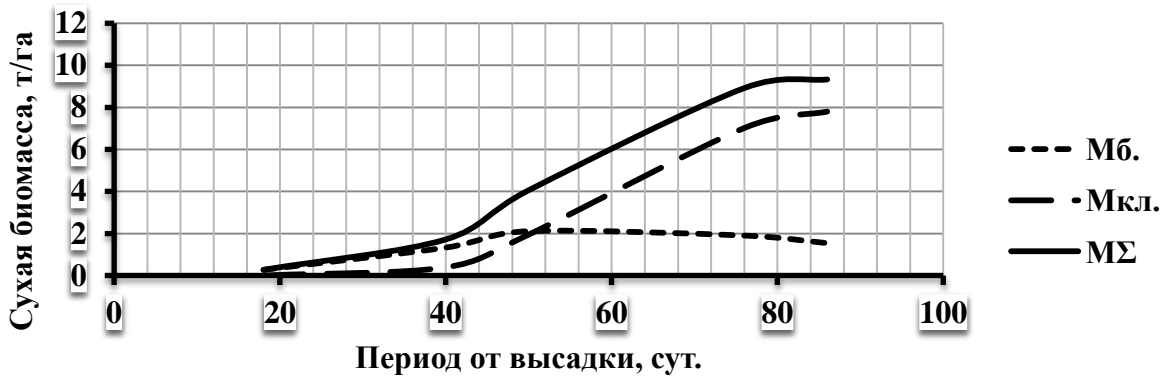
Таблица 4.10 - Среднесуточные значения накопления биомассы картофеля при разных способах посадки в зависимости от варианта контроля влажности почвы, кг/га в сут.

Вариант способа посадки картофеля	Вариант контроля влажности почвы	Среднесуточные значения накопления биомассы, т, кг/га в сут.				Δ т в зависимости от варианта контроля влажности почвы		Вариант контроля влажности почвы	Вариант способа посадки картофеля	Среднесуточные значения накопления биомассы, т, кг/га в сут.	Δ т в зависимости от способа посадки картофеля	
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	Средняя	кг/га в сут.	%				кг/га в сут.	%
А1 (контроль)	В1 (контроль)	123	137	138	133	–	–	В1	А1 (контроль)	133	–	–
	В2	123	137	138	133	0	0,0		А2	138	5	3,8
	В3	124	137	139	133	0	0,0		А3	149	16	12,0
А2	В1	127	139	147	138	–	–	В2	А4	127	-6	-4,5
	В2	126	139	147	137	-1	-0,7		А1	133	–	–
	В3	127	139	147	138	0	0,0		А2	137	4	3,0
А3	В1	140	149	157	149	–	–	В3	А3	136	3	2,3
	В2	123	138	148	136	-13	-8,7		А4	113	-20	-15,0
	В3	151	165	168	161	12	8,1		А1	133	–	–
А4	В1	118	132	130	127	–	–	В3	А2	138	5	3,8
	В2	99	118	123	113	-14	-11,0		А3	161	28	21,1
	В3	137	146	148	144	17	13,4		А4	144	11	8,3

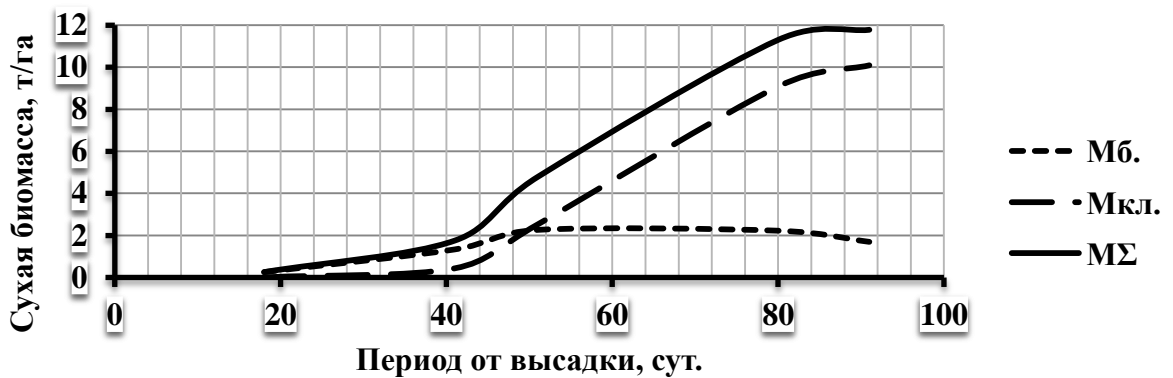




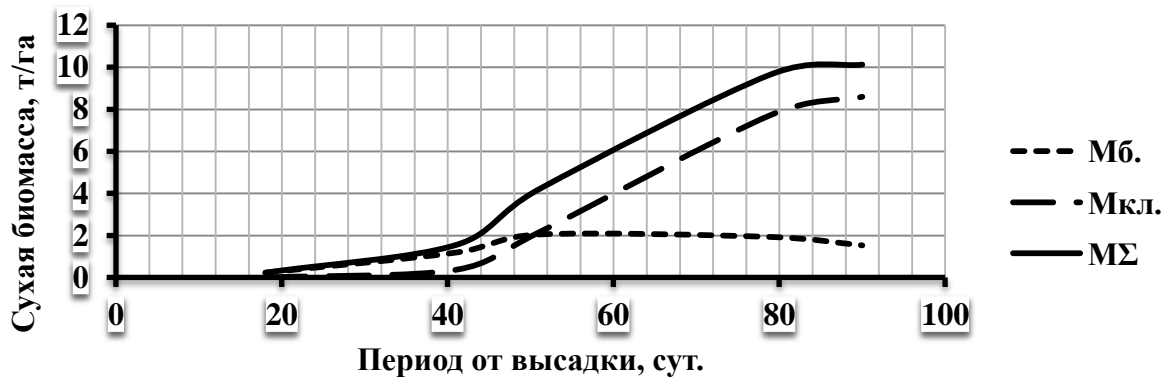
а)



б)



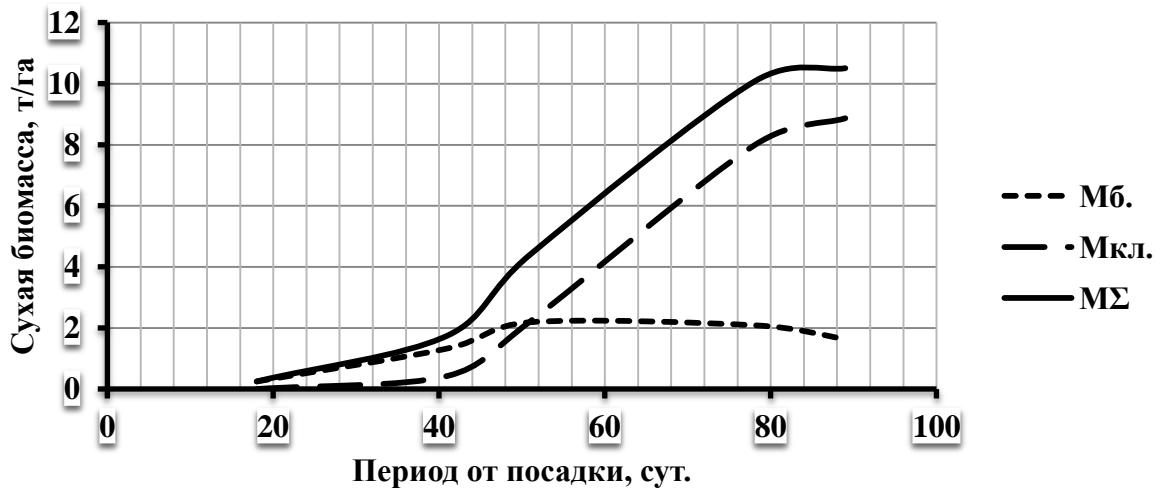
в)



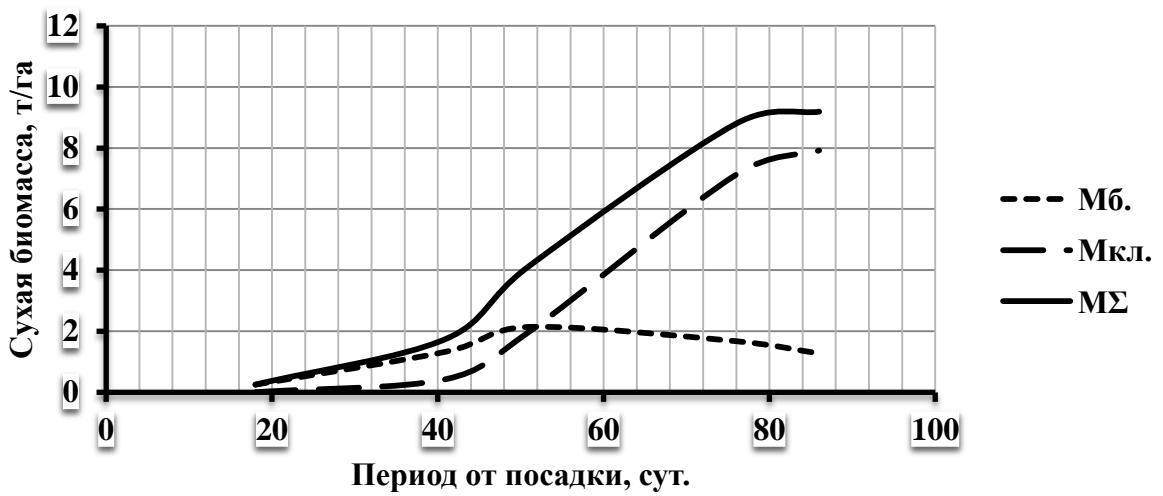
г)

а) – вариант А1В3, б) – вариант А2В3, в) – вариант А3В3, г) – вариант А4В3

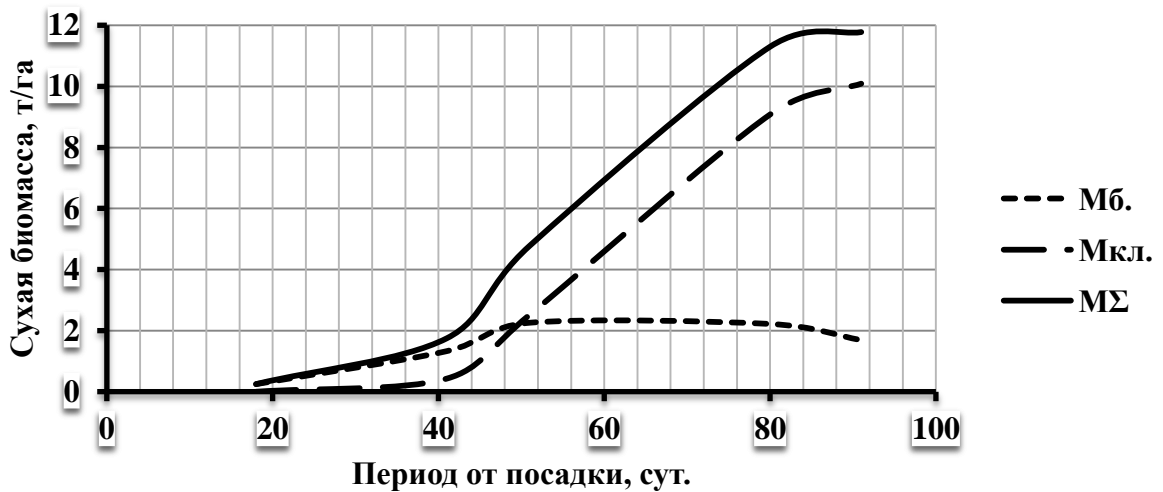
Рисунок 4.4 - Динамика накопления и структура распределения сухой биомассы картофеля в вегетативной части растений (Мб.) и в клубнях (Мкл.) при разных способах посадки



а)



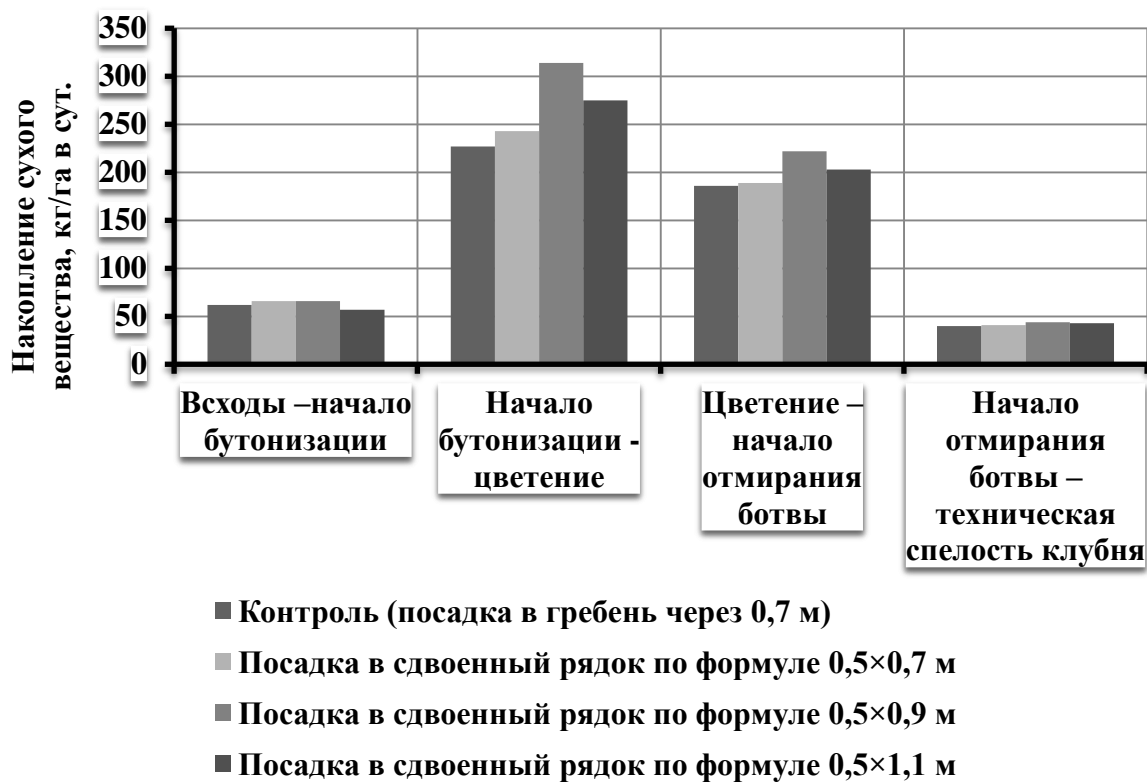
б)



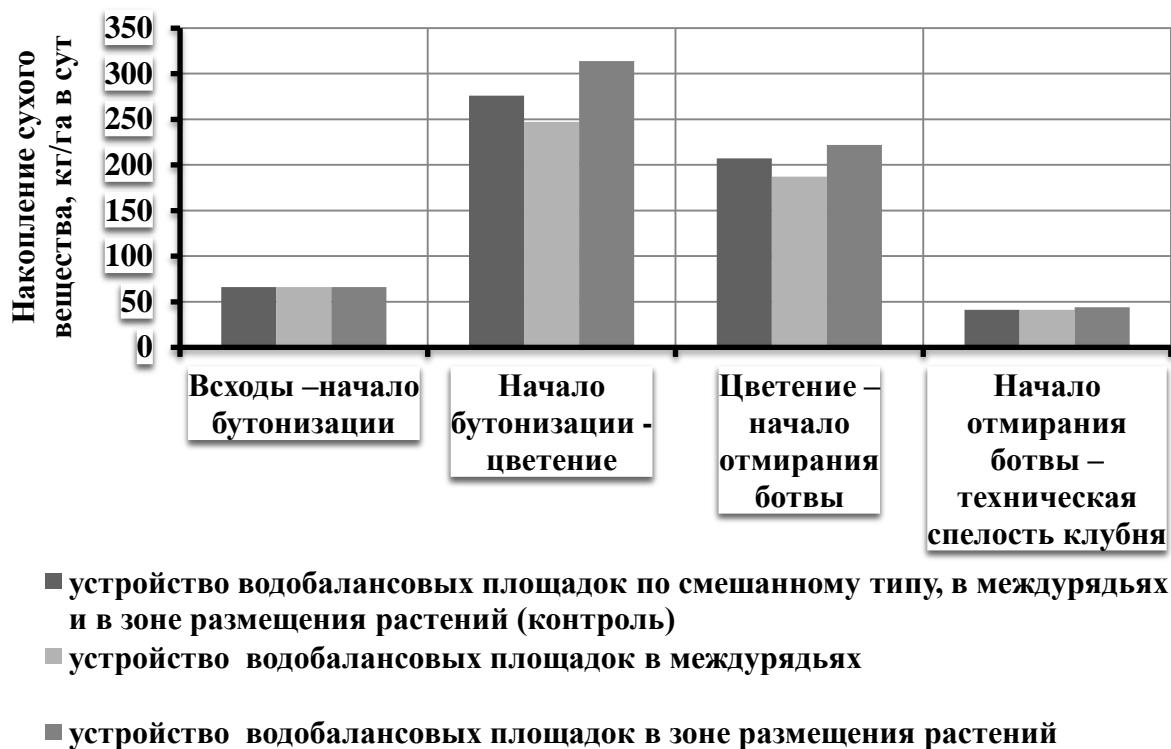
в)

а) вариант АЗВ1; б) вариант АЗВ2; в) вариант АЗВ3

Рисунок 4.5 - Динамика накопления и структура распределения сухой биомассы картофеля в вегетативной части растений (Мб.) и в клубнях (Мкл.) при разных способах контроля предполивной влажности почвы



а)



б)

Рисунок 4.6 - Среднесуточная динамика накопления сухой биомассы картофелем в зависимости от способа посадки (а) и способа контроля предполивной влажности почвы (б)

В фазу регистрации массовых всходов картофеля общая вегетативная биомасса растений в абсолютно-сухом состоянии составляла, в среднем, 0,23-0,27 т/га. Различия в массе сухого вещества картофеля по вариантам опыта в этот период определялись густотой посадок, которая на опытных делянках была не одинакова из-за различий по способу посадки. На участках, где картофель высаживали в гребень, через 0,7 м, общая биомасса всходов картофеля в сухом состоянии составила 0,25 т/га. Такая же биомасса всходов картофеля была получена при посадке в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м. При посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м плотность размещения растений, а соответственно, и биомасса всходов была наибольшей - 0,27 т/га. При посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м плотность размещения растений и биомасса всходов была наименьшей - 0,23 т/га.

Вся накопленная масса сухого вещества в период всходов у картофеля - вегетативная. Однако с началом фазы бутонизации у ранних сортов картофеля активизируются процессы клубнеобразования. Это предполагает учет сухой биомассы клубней картофеля уже с начала фазы бутонизации.

Опытами установлено, что масса сухого вещества, накопленного в вегетативной части растений к началу фазы бутонизации составляет, в среднем, 1,18 – 1,33 т/га и еще 0,37-0,43 т/га сухой биомассы к этому периоду накапливалось в новообразованных клубнях картофеля. Общая биомасса сухого вещества картофеля, накопленная к началу фазы бутонизации, составляла 1,55-1,75 т/га, существенно различаясь по вариантам опыта. Больше всего сухого вещества оказалось накоплено растениями картофеля на участках вариантов, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,7 м и 0,5×0,9 м (1,72-1,75 т/га). На участках, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×1,1 м к началу фазы бутонизации накапливалось не более 1,55 т/га сухого вещества, - столько же, сколько и на контроле по способам посадки (посадка в гребень, через 0,7 м).

Результаты эксперимента подтверждают, что в фазу массового цветения картофеля сухая масса вещества, накопленного в клубнях картофеля, практически сравнивается с массой сухого вещества вегетативной части растения (рисунок 4.4-

4.5). В тоже время характерны следующие закономерности в структуре распределения органического вещества:

– на наиболее продуктивных вариантах масса сухого вещества, накопленная в клубнях картофеля существенно, превышает вес вегетативной части растений в абсолютно-сухом состоянии. Примером могут служить данные, полученные на участках, где картофель высаживали в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м, а поливы назначали по влажности почвы, измеренной непосредственно в зоне размещения растений (в рядке). В среднем за годы исследований масса сухого вещества, накопленная в клубнях картофеля, здесь составила 2,52 т/га, а вес сухой ботвы – 2,26 т/га;

– в наименее продуктивных вариантах при общем снижении количества накопленного сухого вещества, изменяется и соотношение между сухой биомассой клубней и вегетативной части растений картофеля. Например, на участках, где картофель высаживали в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м, а поливы назначали по влажности почвы в междурядье, масса сухой ботвы снизилась до 1,8 т/га, а масса сухого вещества, накопленного в клубнях картофеля – до 1,6 т/га.

Суммарная масса сухого вещества, накопленная растениями картофеля к фазе массового цветения, достигала 3,40-4,41 т/га, что составляет 41-45 % к массе органического вещества, накопленного за вегетационный период. После фазы массового цветения динамика роста ботвы заметно снижается, однако общая динамика накопления сухого вещества растениями картофеля сохраняется на высоком уровне. Среднесуточные приросты сухого вещества картофеля за период «цветение – начало отмирания ботвы» достигали в опытах 156-222 кг/га в сут. Из приведенных на рисунке 4.6 данных видно, что для сохранения наибольшей интенсивности накопления сухого вещества посадками картофеля в этот период необходимо назначать поливы по влажности почвы, измеренной непосредственно в зоне размещения растений (врядке). При этом наибольшая активность накопления сухого вещества картофелем отмечена в вариантах, где посадку осуществляли по технологии «сдвоенного» рядка с использованием формулы  $0,5 \times 0,9$  м.

К началу фазы отмирания ботвы в вегетативной части растений картофеля преобладают процессы некроза растительных тканей, а большая часть синтезированной органики перераспределяется в клубни картофеля. В опытных посадках, вес сухой ботвы растений к началу фазы отмирания составил 1,44-2,22 т/га, тогда как в клубнях к этому периоду накапливалось уже 5,77-9,08 т/га сухого вещества.

Фаза отмирания ботвы сопровождается активным перераспределением органического вещества растений из вегетативной части растений в клубни. Анализ опытных данных показывает, что за этот период в клубнях накапливается до 10 % сухой органики. Общая масса сухого вещества, накопленная растениями картофеля за вегетационный период, в опытах изменялась от 7,55-11,78 т/га, из которых 6,41-10,09 т/га было запасено в клубнях.

Исследования показали, что на участках, где картофель высаживали в гребень через 0,7 м (контроль), посадками за вегетационный период накапливалось, в среднем, 9,02-9,06 т/га сухого вещества независимо от схемы организации контроля предполивной влажности почвы. Сходные результаты были получены и на участках, где картофель высаживали по технологии «сдвоенного» ряда с применением формулы 0,5×0,7 м. Масса сухого вещества, накопленная посадками картофеля, здесь составила 9,30-9,33 т/га, и практически не изменялась по вариантам организации инструментального контроля предполивной влажности почвы.

Существенные отличия накопленного за вегетационный период сухого вещества в вариантах с различными способами организации инструментального контроля предполивной влажности почвы у картофеля отмечены на участках, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок с шириной междурядий 0,9 м и более. На участках, где на фоне посадки картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле 0,5×0,9 м инструментальный контроль предполивной влажности почвы осуществляли смешанным способом (в рядке и в междурядье) суммарные значения накопленного растениями сухого вещества составили 10,51 т/га, что на 16,5 % больше, чем на контроле по способу посадки. На участках, где при таком же способе посадки предполивную влажность почвы контролировали в междурядье (вариант В2) масса накопленного картофелем сухого вещества составила 9,19 т/га, что отличается

от контроля по способу посадки лишь 0,17 т/га. При организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке (вариант В3) интегральные значения накопленного картофелем сухого вещества составили 11,78 т/га, что на 30 % больше контроля по способу посадки.

При посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле  $05 \times 1,1$  м количественная оценка массы накопленного растениями сухого вещества изменялась, однако общие закономерности сохранялись. Меньше всего, 7,55 т/га, при таком способе посадки картофеля сухой биомассы накапливалось на участках, где инструментальный контроль предполивной влажности почвы осуществляли в междурядье. Этот уровень на 16,3 % меньше контроля по способу посадки. Больше всего, 10,13 т/га, сухого вещества при таком способе посадки картофелем накапливалось при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке).

Таким образом, использование способа посадки картофеля в «сдвоенный» рядок с междурядьями 0,9 и 1,1 м обеспечивает наибольший прирост сухой биомассы растений только при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке. Прирост накопленной сухой биомассы картофеля обеспечивается за счет увеличения общей интенсивности накопления органического вещества, так и за счет увеличения времени активного роста растений. Среднесуточные значения приростов сухой биомассы картофеля в опытах приведены в таблице 4.10.

Анализ приведенного материала показал, что при общепринятой технологии возделывания картофеля в условиях орошения (сочетание контроля по способу посадки клубней – вариант А1 и контроля по способам инструментального контроля предполивной влажности почвы – вариант В1) посадками накапливается в среднем 133 кг/га сухого вещества за сутки. Переход на ленточную технологию посадки картофеля (в «сдвоенный» рядок) при использовании смешанного способа инструментального контроля предполивной влажности почвы (в рядке и в междурядье) обеспечивал существенный рост интенсивности накопления сухой биомассы (на 12,0 %) только при ширине междурядий, равной 0,9 м. При ширине

междурядий 0,7 м среднесуточный приросты сухого вещества картофеля возрастали лишь на 3,8 %, а при ширине междурядий 1,1 м – снижались на 4,5 %.

При организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье (вариант В2) переход на ленточный способ посадки картофеля с шириной междурядий 0,7 и 0,9 м сопровождался повышением среднесуточных приростов сухой биомассы не более, чем на 2,3-3,0 %. При этом с увеличением ширины междурядий до 1,1 м (вариант А4) среднесуточные приросты сухой биомассы картофеля снижались на 15,0 % по отношению к контрольному варианту.

При организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке (вариант В3) переход на ленточный способ посадки картофеля сопровождался ростом среднесуточных приростов сухой биомассы при всех, включенных в опыт, значениях ширины междурядий. Однако при посадке картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле  $05 \times 0,7$  м рост среднесуточных приростов сухой биомассы составил 3,8 %, при использовании формулы  $05 \times 0,9$  м – 21,1 %, а при увеличении ширины междурядий до 1,1 м – 8,3 %.

Таким образом, использование ленточного способа посадки картофеля (технология «сдвоенного» рядка) эффективно и обеспечивает увеличение динамики накопления органического вещества, как в вегетативной биомассе, так и в клубнях только при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке. Наибольшие значения среднесуточных приростов, 161 кг/га в сут., и накопления сухой биомассы, 11,78 т/га, обеспечиваются при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке на фоне посадки картофеля в «сдвоенный» рядок по формуле  $05 \times 0,9$  м.

#### **4.4. Структура урожая раннего картофеля при спринклерном орошении**

Валовой сбор урожая клубней картофеля в опытах в пересчете на 1 га достигал 38,3-54,7 т, существенно изменяясь по вариантам опыта (таблица 4.11). Различия валовых сборов урожая картофеля были обусловлены как изменением



Таблица 4.11 - Элементы структуры урожая картофеля по вариантам опыта (среднее за 2012-2014 гг.)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Показатель				
		Валовой сбор клубней, т (в пересчете на 1 га)	Масса клубней картофеля с одного среднего растения, г	Выход товарной продукции (по ГОСТ 7176-85), %	Среднее число товарных клубней на одном растении, шт.	Средняя масса товарного клубня, г
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	42,6	747	94,2	8,8	80
	В2 (в междурядье)	42,6	749	94,2	8,7	81
	В3 (в рядке)	42,2	739	95,2	8,7	81
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	45,1	673	91,1	8,1	76
	В2 (в междурядье)	45,6	681	89,9	7,9	77
	В3 (в рядке)	45,2	675	90,7	8,0	76
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	49,1	861	95,2	9,2	89
	В2 (в междурядье)	45,1	790	92,5	8,6	85
	В3 (в рядке)	54,7	961	97,1	9,8	95
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	42,1	870	91,4	8,6	92
	В2 (в междурядье)	38,3	790	88,1	8,3	84
	В3 (в рядке)	47,4	979	95,6	9,6	97

индивидуальной продуктивности растений, так и формированием различной густоты стояния растений по вариантам опыта.

Наибольшей индивидуальной продуктивностью, 961-976 г, растения картофеля отличались на участках варианта, где инструментальный контроль предполивной влажности почвы осуществляли в рядке при способе посадки в «сдвоенный» рядок через 0,9 или 1,1 м. Чуть ниже, 861-870 г, на этих же участках по способам посадки, продуктивность растений картофеля была при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы по смешанному типу (и в рядке и в междурядье).

При организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье на участках, где картофель сажали в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м или  $0,5 \times 1,1$  м, средняя за годы исследований продуктивность одного растения составила 790 г. Характерно, что при одинаковой индивидуальной продуктивности растений (790 г), валовой сбор урожая картофеля на участках, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м, составил 45,1 т/га, а при посадке в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м, - 38,3 т/га.

Наименьшей индивидуальной продуктивностью, 673-681 г, растения картофеля отличались на участках варианта, где посадку клубней проводили по технологии «сдвоенного» рядка по формуле  $0,5 \times 0,7$  м. При этом в зависимости от способа организации инструментального контроля предполивной влажности почвы существенных различий средней массы клубней, собранных с одного растения, не наблюдалось.

Не наблюдалось различий в индивидуальной продуктивности растений картофеля и на участках, где посадку клубней проводили в гребень через 0,7 м (контроль по способу посадки). Средняя масса клубней картофеля, собранных с одного растения на участках этих вариантов составила 739-749 г.

Не весь собранный с опытных делянок урожай можно охарактеризовать как «товарную продукцию» (таблица 4.11). В соответствии с требованиями ГОСТ 7176-85 товарный урожай картофеля может включать клубни с размером по наибольшему поперечному диаметру не менее 30 мм, целые, здоровые, не про-

росшие, не увядшие, не пораженные болезнями и вредителями, не позеленевшие. В опытах выход товарной продукции по вариантам изменялся от 88,1 до 97,1 %. Существенное снижение доли выхода товарной продукции в опытах наблюдалось на участках, где посадку проводили в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м или  $0,5 \times 1,1$  м, а инструментальный контроль предполивной влажности почвы осуществляли в междурядье. Доля выхода товарных клубней картофеля на этих вариантах опыта находилась в пределах 88,1-92,5 %. При этом, на участках, где инструментальный контроль предполивной влажности почвы осуществляли в зоне размещения растений (в рядке) в сочетании с посадкой в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м или  $0,5 \times 1,1$  м, доля выхода товарных клубней картофеля была наибольшей, 95,6-97,1 %.

Опыты показали, что другим фактором, снижающим выход товарных клубней картофеля, является чрезмерное увеличение плотности размещения растений при посадке в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м. Доля выхода товарных клубней при этом оставалась низкой, 89,9-91,1 %, независимо от способа организации инструментального контроля предполивной влажности почвы.

На контроле по способу посадки (посадка в гребень через 0,7 м) доля выхода товарных клубней картофеля составила 94,2-95,2 %. Среднее число товарных клубней на одном растении при этом составило 8,7-8,8 шт., средняя масса которых достигала 80-81 г.

При посадке картофеля в «сдвоенный» рядок среднее число товарных клубней на одном растении существенно изменялось в зависимости от ширины междурядий. Например, при использовании формулы посадки  $0,5 \times 0,7$  м с одного среднего растения собирали 7,9-8,1 шт. товарных клубней со средней массой 76-77 г. При использовании формулы посадки  $0,5 \times 0,9$  м с одного среднего растения собирали от 8,6 товарных клубней на участках с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье до 9,8 товарных клубней на участках, где контроль предполивной влажности почвы осуществляли в зоне размещения растений (в рядке). Посадка картофеля в «сдвоенный» рядок с междурядьем 1,1 м (формула посадки  $0,5 \times 1,1$  м) обеспечивала возможность сбора 8,3 товарных

клубней на участках с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье, 8,6 товарных клубней на участках с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы по смешанному типу (и в рядке и в междурядье) и 9,6 товарных клубней – при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке.

Исследования показали, что в зависимости от способа посадки картофеля и зоны инструментального контроля предполивной влажности почвы существенно зависит распределение клубней по размерным фракциям. В опытах весь товарный урожай делили на три весовых фракции (таблица 4.12):

- крупная фракция, включающая все клубни с весом свыше 100 г;
- средняя фракция, включающая все клубни с весом от 50 до 100 г;
- мелкая фракция, включающая все клубни с весом менее 50 г.

Наиболее востребованной фракцией картофеля для потребления в свежем виде является средняя, с размером клубней по наибольшему поперечному диаметру от 50 до 100 мм.

На участках, где картофель высаживали в гребень через 0,7 м в крупную фракцию попадало 29,5-30,0 % товарного урожая, в среднюю – 55,5-57,0 % и 13,5-14,7 % урожая было представлено клубнями мелкой фракции. При переходе на ленточный способ посадки картофеля с междурядным расстоянием 0,7 м (формула посадки 0,5×0,7 м) доля крупных клубней в урожае снизилась до 24,5-26,7 %, а доля средних и мелких клубней возросла соответственно до 57,5-58,9 % и 14,8-16,8 %.

При использовании способа посадки картофеля в «сдвоенный» рядок с междурядным расстоянием 0,9 м характер распределения урожая по весовым фракциям существенно изменялся в зависимости от зоны инструментального контроля предполивной влажности почвы. Наибольшая доля клубней картофеля из средней фракции, 62,8 %, была получена при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке. Наибольшая доля клубней картофеля из мелкой фракции, 10,0 %, при этом была получена на участках с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье.

Таблица 4.12 – Распределение клубней картофеля в урожае товарной продукции по фракциям (среднее за 2012-2014 гг.)

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Фракция клубней картофеля по весу								
		m>100 г			50 г<m<100 г			m<50 г		
		Число клубней на растении, шт.	Средняя масса клубня во фракции, г	Доля фракции в урожае, %	Число клубней на растении, шт.	Средняя масса клубня во фракции, г	Доля фракции в урожае, %	Число клубней на растении, шт.	Средняя масса клубня во фракции, г	Доля фракции в урожае, %
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	1,6	131	29,8	4,7	83	55,5	2,5	41	14,7
	В2 (в междурядье)	1,6	130	29,5	4,9	82	57,0	2,2	43	13,5
	В3 (в рядке)	1,6	132	30,0	4,8	82	56,0	2,3	43	14,0
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	1,2	125	24,5	4,5	80	58,7	2,4	43	16,8
	В2 (в междурядье)	1,3	124	26,3	4,5	80	58,9	2,1	43	14,8
	В3 (в рядке)	1,3	125	26,7	4,4	80	57,5	2,3	42	15,8
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	2,2	134	36,0	5,4	84	55,4	1,6	44	8,6
	В2 (в междурядье)	1,8	130	32,0	5,1	83	58,0	1,7	43	10,0
	В3 (в рядке)	2,4	135	34,8	6,9	85	62,8	0,5	45	2,4
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	2,2	135	37,3	5,4	84	57,0	1,0	45	5,7
	В2 (в междурядье)	1,7	130	31,8	4,8	82	56,5	1,8	45	11,7
	В3 (в рядке)	2,6	135	37,5	6,7	85	60,9	0,3	46	1,6

Больше всего клубней картофеля крупной фракции было получено на участках, где посадку проводили по технологии «сдвоенного» ряда с междурядным расстоянием 1,1 м (формула посадки  $0,5 \times 1,1$  м). До 37,5 % всего урожая картофеля здесь было представлено клубнями со средним весом 135 г. При этом доля урожая картофеля, приходящаяся на среднюю и мелкую фракции, существенно снижалась.

Таким образом, использование ленточного способа посадки картофеля с междурядным расстоянием 0,9 м (формула посадки  $0,5 \times 0,9$  м) в сочетании с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке позволяет увеличить индивидуальную продуктивность растений до 961 г, валовой сбор урожая картофеля до 54,7 т/га, выход товарной продукции – до 97,1 % и получать, в среднем, 9,8 товарных клубня с куста, из которых 6,9 клубней относится к наиболее востребованной на рынке, средней размерной фракции.

## **5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ ПРИ СПРИНКЛЕРНОМ ОРОШЕНИИ**

### **5.1 Потенциал продуктивности раннего картофеля и эффективность его реализации при спринклерном орошении**

Формирование урожая картофеля – сложный процесс, эффективность которого зависит от множества факторов, не все из которых удастся регулировать в условиях полевого производства. Для успешного производства картофеля в засушливых условиях региона Нижней Волги необходимо орошение, применение минеральных удобрений, создание оптимальной структуры посева, регулирование микроклимата и т.д. Орошение является главным и необходимым условием получения высоких урожаев раннего картофеля на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья. До недавнего времени одним из наиболее распространенных способов орошения картофеля в регионе являлось дождевание с использованием широкозахватных дождевальными машин позиционного действия или работающих в движении, а также консольных агрегатов. Сегодня большая часть площадей картофеля в регионе размещается под капельным орошением. Каждый из способов полива имеет свои преимущества, как по отношению к биологии культуры, так и в отношении приемов ее возделывания. Главным преимуществом орошения дождевальными машинами в отношении биологии картофеля является возможность совокупного регулирования водного режима почвы и влажности воздуха [62, 88]. Капельное орошение позволяет управлять только водным режимом почвы, но менее инертно, чем орошение дождевальными машинами; есть возможность гибкого регулирования поливной нормы, сроков полива, автоматизации процесса [19]. Новым, перспективным способом орошения картофеля, внедряемым в передовых фермерских хозяйствах региона, является спринклерное орошение, которое сочетает в себе возможность, с одной стороны, совокупного управления водным режимом почвы и улучшения микроклимата посева, а с другой, - возможность гибкого регулирования поливной нормы, сроков полива, возможность автоматизации технологического процесса. Сочетание

этих преимуществ обеспечивает возможность формирования максимально благоприятных условий для роста и развития картофеля, а, следовательно, и для реализации потенциала продуктивности.

Опыты подтвердили высокую эффективность спринклерного орошения картофеля и возможность получения свыше 50 т/га ранней продукции (таблица 5.1). Наряду с этим отмечена необходимость оптимизации параметров посадки клубней и способа контроля влажности почвы, оказывающих существенное влияние на урожайность картофеля.

Урожайность картофеля на контроле составила, в среднем, 40,1 т/га. В целом, это высокий уровень продуктивности для орошаемых сортов раннего картофеля, для получения которого необходимо строгое соблюдение регламентов зональных агротехнологий. В качестве контроля по способу посадки картофеля, была выбрана технология посадки клубней в гребень с нарезкой гребней через 0,7 м. Эта технология получила наибольшее распространение в регионе, а альтернативой к ней является посадка в сдвоенный рядок. Порог предполивной влажности почвы на участках этого варианта контролировали на постоянных водобалансовых площадках, размещаемых как в междурядьях, так и среди растений (в рядке). Такая технология инструментального контроля влажности почвы также получила наибольшее распространение при производстве поливов способом дождевания. Альтернативой этой технологии является контроль влажности почвы только в рядке или только в междурядье.

Исследования показали, что при посадке картофеля в гребень (с нарезкой гребней через 0,7 м) не имеет значения место контроля предполивной влажности почвы. Урожайность картофеля при этом, независимо от того, где контролировали предполивную влажность почвы, находилась в пределах 40,1-40,2 т/га.

Опыты также показали, что продуктивность картофеля при посадке в гребень через 0,7 м и в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м не имеет статистически значимых различий. И в том и в другом случае урожайность картофеля в большей мере изменялась по годам исследований, от 36,9 до 44,4 т/га, а различия в парных внутрифакторных сравнениях не превышали 0,8-1,0 т/га (при  $НСР_{05} = 1,68-1,94$  т/га).





В зависимости от зоны инструментального контроля предполивной влажности почвы урожайность картофеля при посадке в двоянный рядок с междурядьем 0,7 м также не изменялась.

Переход к способу посадки картофеля в двоянный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м сопровождался существенным увеличением выхода стандартных клубней. Например, на участках, где контроль предполивной влажности почвы осуществляли по смешанному типу (и в рядке и в междурядье), урожайность картофеля увеличилась, в среднем, до 46,7 т/га с вариациями по годам исследований от 43,7 до 50,1 т/га. Однако, при организации контроля предполивной влажности почвы в междурядье эффект от перехода на новый способ посадки картофеля нивелировался, а урожайность не превышала 41,7 т/га. И если в первом случае прибавка урожая по отношению к контролю достигала 6,6 т/га или 16,5 %, то во втором снизилась до 1,6 т/га, что сравнимо со статистической ошибкой опыта. Наибольшая прибавка урожая картофеля по отношению к контролю была получена на участках, где посадку проводили в двоянный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м, а мониторинг критического уровня почвенных влагозапасов осуществляли по данным инструментального контроля в зоне размещения растений. Урожайность картофеля на участках этого варианта составила, в среднем, 53,1 т/га, что на 13,0 т/га больше, чем контролю. Прибавка урожайности картофеля по фактору А (способ посадки) на участках этого варианта достигала 12,9 т/га или 32,1 %, а по фактору В (вариант контроля влажности почвы) – составила 6,8 или 17,7 %. Все прибавки урожая, полученные на этом варианте лежат далеко за пределами наименьшей существенной разницы для 5 %-ного уровня значимости.

Для изучения общих закономерностей изменения урожайности картофеля в зависимости от способа посадки и зоны размещения инструментального контроля уровня предполивной влажности почвы на участке исследованиями предусматривалась разработка статистической модели класса регрессии. В качестве численной шкалы аргументов (независимых предикторов) модели в рамках фактора А использованы значения междурядий: для гребневой посадки – 0,7, для посадки по технологии двоянного рядка, – соответственно 0,7, 0,9 и 1,1 м. По фактору В (ва-

риант контроля влажности почвы) за нулевую координату был принят контрольный вариант с размещением зоны мониторинга предполивной влажности почвы по смешанному типу (и в рядке и в междурядье). Было принято, что при размещении зоны контроля предполивной влажности почвы в междурядье аргумент модели принимает значение (-1), а при организации контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений аргумент принимает значение (+1). Статистические исследования урожайных данных стандартными методами регрессионного анализа позволили подобрать оптимальную форму и определить параметры уравнения регрессии:

$$Y=a+b/S+c \cdot R+d/S^2+e \cdot R^2+f \cdot R/S$$

где  $Y$  – урожайность картофеля, т/га,  $S$  – ширина междурядий, м,  $R$  - значение аргумента, характеризующего размещение зоны инструментального контроля предполивной влажности почвы (от -1 до +1). Параметры уравнения регрессии,  $a=-114,4$ ;  $b=274,2$ ;  $c=17,8$ ;  $d=-116,1$ ;  $e=0,41$ ;  $f=-12,3$ , верифицированы по данным трехлетнего полевого опыта. Коэффициент детерминации уравнения  $r^2 = 0,93$ , что свидетельствуют о хорошей сходимости опытных и теоретических данных.

Из графика зависимости (рисунок 5.1) видно, что распределение урожайных данных в зависимости от исследуемых факторов имеет один, достаточно четко определенный оптимум. Существенный рост урожайности наблюдается с изменением междурядного расстояния от 0,7 до 0,9 м и изменением значения аргумента, характеризующего размещение зоны инструментального контроля предполивной влажности почвы от (-1) до (+1). Дальнейшее увеличение междурядного расстояния до 1,1 м сопровождалось снижением урожайности картофеля независимо от размещения зоны инструментального контроля предполивной влажности почвы.

В опытах при посадке клубней в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 1,1$  м из изреженности картофельного ценоза общая продуктивность картофеля существенно снижалась. Даже при организации контроля влажности почвы в зоне размещения растений урожайность картофеля составила, в среднем, 45,3 т/га, что больше чем при посадке в гребень через 0,7 м, но на 7,8 т/га меньше, чем при посадке в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м. При организации контроля влажности почвы

в междурядье или по смешанному типу (по средней пробе из ряда и междурядья) урожайность картофеля снижалась до 33,7-38,5 т/га, что ниже уровня продуктивности в вариантах с посадкой клубней в гребень через 0,7 м (контрольный вариант).

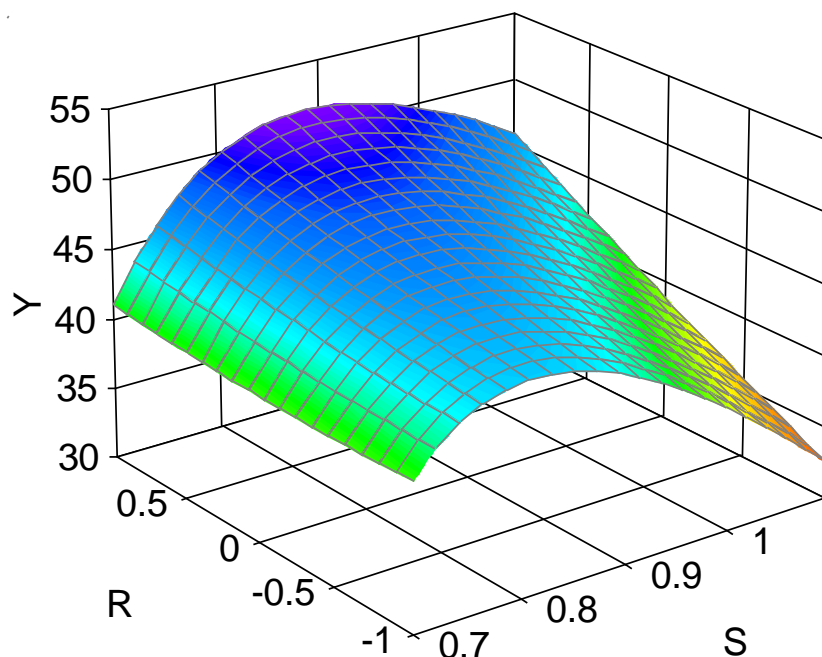


Рисунок 5.1 – График изменения урожайности,  $Y$ , раннего картофеля при разных способах посадки,  $S$ , и в зависимости от способа инструментального контроля предполивной влажности почвы,  $R$

Таким образом, при спринклерном орошении картофеля переход от способа посадки в гребень через 0,7 м к посадке по технологии «сдвоенного ряда» оправдан только с одновременным увеличением междурядного расстояния до 0,9 м. При посадке картофеля ленточным способом (технология «сдвоенного ряда») по формуле 0,5×0,9 м особое значение приобретает место размещения зоны инструментального контроля предполивной влажности почвы. Наиболее продуктивные посадки картофеля при этом получаются, если контроль предполивной влажности почвы осуществлять в зоне размещения растений (в рядке). Сочетание ленточного способа посадки картофеля и контроля уровня влажности почвы в рядке обеспе-

чивается при спринклерном орошении возможность получения до 53,1 т/га стандартных клубней.

## **5.2 Эффективность использования воды на формирование урожая**

Исследованиями выявлено существенное влияние способа посадки картофеля и параметров организации инструментального контроля предполивной влажности почвы на суммарное водопотребление посадок в различные периоды роста и развития. В частности, установлено, что суммарное водопотребление существенно увеличивается при посадке картофеля в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м и при переходе на инструментальный контроль предполивной влажности почвы непосредственно в зоне размещения растений (в рядке). Это определяет особую важность задачи повышения эффективности использования водных ресурсов, которая может рассматриваться не только в плане снижения общего расхода оросительной воды, но и в плане снижения общих затрат воды на формирование урожая.

Опытами установлено, что на участках, где картофель сажали в гребень, через 0,7 м или в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м, ни суммарное водопотребление, ни урожайность картофеля практически не изменяется и сохраняется на одном уровне независимо от варианта контроля предполивной влажности почвы (таблица 5.2). Это определяет практически равные расходы воды на формирование урожая картофеля по всей совокупности этих вариантов. Например, в 2012 году на участках этих вариантов коэффициент водопотребления картофеля находился в пределах 36,4-37,0 м<sup>3</sup>/т, в 2013 году составил 41,0-41,8 м<sup>3</sup>/т, а в 2014 году - изменялся от 42,9 до 44,5 м<sup>3</sup>/т. Таким образом, изменения коэффициента водопотребления картофеля, связанные с вариацией природных условий, прежде всего, - метеорологических, на участках этих вариантов существенно выше внутрифакторных изменений.

Переход на ленточную схему посадки картофеля по формуле  $0,5 \times 0,9$  м сопровождался увеличением суммарного водопотребления, на 140-230 м<sup>3</sup>/га при росте

Таблица 5.2 - Коэффициент водопотребления раннего картофеля при спринклерном орошении

Вариант способа посадки картофеля	Вариант контроля влажности почвы	2012 г.			2013 г.			2014 г.		
		Е, м <sup>3</sup> /га	У, т/га	К <sub>Е</sub> , м <sup>3</sup> /т	Е, м <sup>3</sup> /га	У, т/га	К <sub>Е</sub> , м <sup>3</sup> /т	Е, м <sup>3</sup> /га	У, т/га	К <sub>Е</sub> , м <sup>3</sup> /т
А1 (контроль)	В1 (контроль)	3290	36,5	90,1	3250	41,0	79,3	3410	42,9	79,5
	В2	3270	36,4	89,8	3260	41,1	79,3	3400	42,9	79,3
	В3	3300	36,6	90,2	3260	41,1	79,3	3410	43,0	79,3
А2	В1	3300	37,0	89,2	3270	41,8	78,2	3370	44,4	75,9
	В2	3290	36,9	89,2	3270	41,7	78,4	3360	44,5	75,5
	В3	3300	36,9	89,4	3270	41,8	78,2	3370	44,4	75,9
А3	В1	3500	43,7	80,1	3480	46,2	75,3	3550	50,1	70,9
	В2	3290	38,0	86,6	3210	41,2	77,9	3360	45,9	73,2
	В3	3700	49,7	74,4	3650	53,4	68,4	3670	56,2	65,3
А4	В1	3350	36,2	92,5	3320	38,5	86,2	3440	40,8	84,3
	В2	3190	30,3	105,3	3170	34,1	93	3240	36,8	88,0
	В3	3500	42,9	81,6	3450	45,2	76,3	3520	47,7	73,8

Примечание: Е – суммарное водопотребление картофеля, У – урожайность картофеля, К<sub>Е</sub> – коэффициент водопотребления картофеля

общей продуктивности посадок на 5,2-7,2 т/га. В результате коэффициент водопотребления картофеля на этом варианте снизился до 70,9-80,1 м<sup>3</sup>/т. Следует признать, что при общей тенденции к снижению значений коэффициента водопотребления на участках, где посадку картофеля проводили в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м, количественно это снижение существенно зависит от размещения зоны контроля предполивной влажности почвы. Например, при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье, коэффициент водопотребления картофеля составил 73,2-86,6 м<sup>3</sup>/т, что меньше, чем на контроле по способу посадки, но больше, чем при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы по смешанному типу (и в рядке и в междурядье).

На участках, где при посадке картофеля по технологии сдвоенного рядка с междурядным расстоянием 0,9 м инструментальный контроль предполивной влажности почвы был организован в зоне размещения растений (в рядке), расходовалось наибольшее количество воды на суммарное водопотребление. Это наиболее затратный вариант по расходованию водных ресурсов, суммарное водопотребление картофеля на котором изменялось по годам от 3650 до 3700 м<sup>3</sup>/га. Исследования показали, что рост суммарного водопотребления картофеля на этом варианте компенсировался существенной прибавкой урожайности, которая составила 49,7-56,2 т/га. При этом общие затраты воды в расчете на формирование единицы урожая картофеля снизились до 65,3-74,4 м<sup>3</sup>/т.

Статистическая обработка полученных в опыте данных методом регрессионного анализа подтвердила что именно в этой точке находится общий минимум затрат воды на формирование единицы урожая картофеля (рисунок 5.2).

Уравнение регрессии, которое с наибольшей точностью характеризует распределение опытных данных по коэффициенту водопотребления картофеля, имеет вид:

$$K_e = a + b \cdot S + c \cdot R + d \cdot S^2 + e \cdot R^2 + f \cdot x \cdot y$$

где  $K_e$  – коэффициент водопотребления картофеля, т/га,  $S$  – ширина междурядий, м,  $R$  – значение аргумента, характеризующего размещение зоны инструменталь-

ного контроля предполивной влажности почвы (от -1 до +1). Параметры уравнения регрессии,  $a=261,1$ ,  $b=-425,3$ ,  $c=16,1$ ,  $d=242,9$ ,  $e=-0,66$ ,  $f=-23,1$ , верифицированы по данным трехлетнего полевого опыта, а коэффициент детерминации зависимости ( $r^2$ ) равен 0,89. Такое значение коэффициента детерминации характеризует сильную зависимость между исследуемыми показателями.

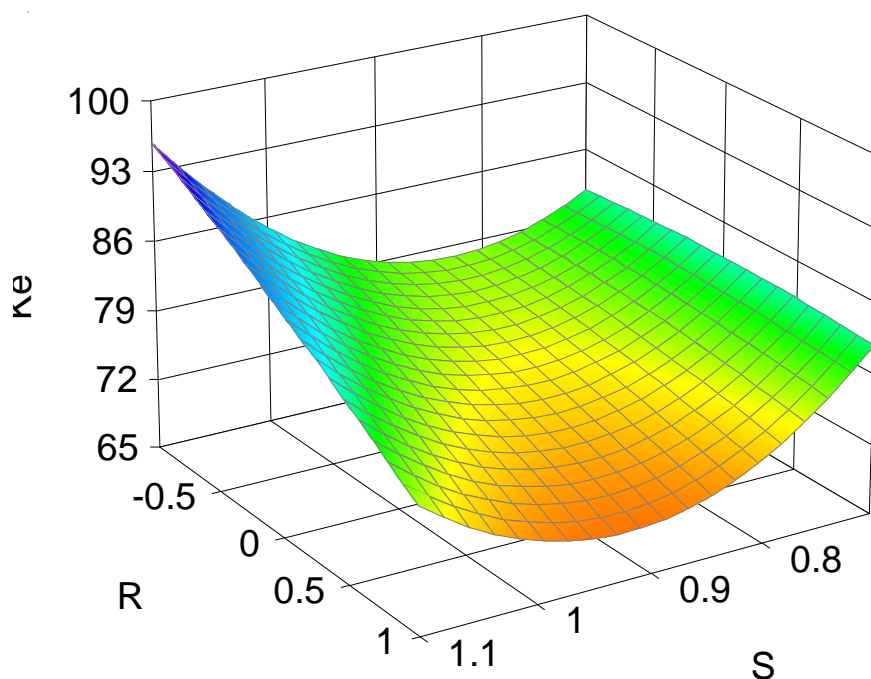


Рисунок 5.2 – График изменения коэффициента водопотребления,  $K_e$ , раннего картофеля при разных способах посадки,  $S$ , и в зависимости от способа инструментального контроля предполивной влажности почвы,  $R$

Анализ поверхности отклика зависимости показал наибольшую сходимость теоретических (расчетных) значений коэффициента водопотребления со средними за годы исследований фактическими (экспериментально определенными) значениями коэффициента водопотребления. Средние за годы исследований значения коэффициента водопотребления раннего картофеля изменялись от  $69,4 \text{ м}^3/\text{т}$  до  $95,4 \text{ м}^3/\text{т}$ , причем ни наименьшие, ни наибольшие значения не были получены на контрольных вариантах (таблица 5.3).



Таблица 5.3 – Эффективность использования воды на формирование урожая раннего картофеля в зависимости от способа посадки и технологии контроля предполивной влажности почвы при спринклерном орошении, т/га

Вариант способа посадки картофеля	Вариант контроля влажности почвы	Коэффициент водопотребления, $K_E$ , м <sup>3</sup> /т				$\Delta K_E$ в зависимости от варианта контроля влажности почвы		Вариант контроля влажности почвы	Вариант способа посадки картофеля	Коэффициент водопотребления, $K_E$ , м <sup>3</sup> /т	$\Delta K_E$ в зависимости от способа посадки картофеля	
		2012 г.	2013 г.	2014 г.	Средняя	м <sup>3</sup> /т	%				м <sup>3</sup> /т	%
А1 (контроль)	В1 (контроль)	90,1	79,3	79,5	83,0	–	–	В1	А1 (контроль)	83,0	–	–
	В2	89,8	79,3	79,3	82,8	-0,2	-0,2		А2	81,1	-1,9	-2,3
	В3	90,2	79,3	79,3	82,9	-0,1	-0,1		А3	75,4	-7,6	-9,2
А2	В1	89,2	78,2	75,9	81,1	–	–	В2	А4	87,7	4,7	5,7
	В2	89,2	78,4	75,5	81,0	-0,1	-0,1		А1	82,8	–	–
	В3	89,4	78,2	75,9	81,2	0,1	0,1		А2	81,0	-1,8	-2,2
А3	В1	80,1	75,3	70,9	75,4	–	–	В3	А3	79,2	-3,6	-4,3
	В2	86,6	77,9	73,2	79,2	3,8	5,0		А4	95,4	12,6	15,2
	В3	74,4	68,4	65,3	69,4	-6	-8,0		А1	82,9	–	–
А4	В1	92,5	86,2	84,3	87,7	–	–	В3	А2	81,2	-1,7	-2,1
	В2	105,3	93,0	88,0	95,4	7,7	8,8		А3	69,4	-13,5	-16,3
	В3	81,6	76,3	73,8	77,2	-10,5	-12,0		А4	77,2	-5,7	-6,9

Наиболее затратным,  $95,4 \text{ м}^3/\text{т}$ , по расходованию воды на формирование единицы урожая картофеля оказался вариант, где посадку проводили ленточным способом (технология «сдвоенного рядка») по формуле  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$ , а инструментальный контроль порога предполивной влажности почвы был организован в междурядьях (код варианта на шкале графика зависимости (-1)). Это на  $12,6 \text{ м}^3/\text{т}$  или  $15,2 \%$  больше контроля по способу посадки картофеля и на  $7,7 \text{ м}^3/\text{т}$  или  $8,8 \%$  больше контроля по организации инструментального мониторинга влажности почвы. При этом на контроле по организации инструментального мониторинга влажности почвы на фоне применения технологии «сдвоенного рядка» с формулой посадки  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$  коэффициент водопотребления картофеля составил, в среднем,  $87,7 \text{ м}^3/\text{т}$ . Это на  $4,7 \text{ м}^3/\text{т}$  или  $5,7 \%$  больше контроля по способу посадки картофеля.

Исследованиями отмечено, что при организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) даже на фоне применения технологии посадки в сдвоенный рядок по формуле  $0,5 \times 1,1 \text{ м}$ , коэффициент водопотребления картофеля составил  $77,2 \text{ м}^3/\text{т}$ . Это  $5,7 \text{ т/га}$  или  $6,9 \%$  меньше значений коэффициента водопотребления картофеля на контроле по способу посадки.

Наиболее эффективным,  $69,4 \text{ м}^3/\text{т}$ , по расходованию воды на формирование единицы урожая картофеля оказался вариант, где посадку проводили ленточным способом (технология «сдвоенного рядка») по формуле  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$ , а инструментальный контроль порога предполивной влажности почвы был организован в зоне размещения растений (код варианта на шкале графика зависимости (+1)). Это на  $13,5 \text{ м}^3/\text{т}$  или  $16,3 \%$  меньше контроля по способу посадки картофеля и на  $6,0 \text{ м}^3/\text{т}$  или  $8,0 \%$  больше контроля по организации инструментального мониторинга влажности почвы. При этом на контроле по организации инструментального мониторинга влажности почвы на фоне применения технологии «сдвоенного рядка» с формулой посадки  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$  коэффициент водопотребления картофеля составил, в среднем,  $75,4 \text{ м}^3/\text{т}$ . Это на  $7,6 \text{ м}^3/\text{т}$  или  $9,2 \%$  меньше контроля по способу посадки картофеля.

При организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье даже на фоне применения технологии посадки в двоянный рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м, коэффициент водопотребления картофеля составил, в среднем,  $79,2 \text{ м}^3/\text{т}$ . Это  $3,6 \text{ т/га}$  или  $4,3 \%$  меньше значений коэффициента водопотребления картофеля на контроле по способу посадки.

Таким образом, варианты с посадкой картофеля в гребень через  $0,7$  м или в двоянный рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м имеют практически равную эффективность использования воды на формирование урожая. Значения коэффициента водопотребления картофеля существенно снижаются при увеличении междурядного расстояния до  $0,9$  м в вариантах с применением технологии «двоянного рядка» и возрастают при дальнейшем увеличении междурядного расстояния до  $1,1$  м. Также существенное снижение значений коэффициента водопотребления картофеля наблюдается при переходе от инструментального контроля предполивной влажности почвы в междурядье к инструментальному контролю предполивной влажности почвы в рядке. При этом значение местоположения инструментального контроля предполивной влажности почвы существенно только при увеличении междурядного расстояния до  $0,9$  м и более. Наименьшие затраты воды на формирование урожая картофеля при оптимизации указанных факторов составляют, в среднем,  $69,4 \text{ м}^3/\text{т}$ , с вариациями по годам с различной обеспеченностью метеос условиями от  $65,3$  до  $74,4 \text{ м}^3/\text{т}$ .

### **5.3 Экономическая эффективность выращивания раннего картофеля при спринклерном орошении**

Оценка экономической эффективности возделывания раннего картофеля при орошении спринклерными системами проводилась на основании фактических данных по урожайности товарных клубней. Все расчеты выполнены в ценах 2014 года.

При расчете совокупных затрат на производство раннего картофеля учитывались расходы на оплату труда, горюче-смазочные и расходные материалы, амор-

тизацию основных средств. Перечень работ по возделыванию раннего картофеля был определен на основании типовых технологических карт с учетом коррекции отдельных или совокупности агроприемов в соответствии с планом проводимых исследований. При проведении расчетов было принято во внимание, что высокие урожаи картофеля при сохранении качества продукции могут быть получены только с использованием качественного посадочного материала. Поэтому в цену посадки была заложена стоимость элитных семян картофеля.

Экономический анализ эффективности производства раннего картофеля при спринклерном орошении проводился в 2 этапа. На первом этапе были определены показатели, которые, собственно, и характеризуют эксплуатационную эффективность производства раннего картофеля. Помимо совокупных затрат была определена себестоимость килограмма продукции, общая выручка от реализации товарной части урожая, величина чистого дохода и рентабельность производства.

На втором этапе была проведена оценка инвестиционной привлекательности потенциальных проектов возделывания раннего картофеля при спринклерном орошении. Инвестиции являются одним из главнейших условий практического освоения инновационных технологий. При этом следует учитывать, что в тех экономических условиях, которые сложились в современной России, безусловное предпочтение отдается «коротким» инвестициям, с быстрым возвратом вложенных средств. Принимая это во внимание при проведении количественной оценки всей совокупности интегральных показателей, характеризующих инвестиционную привлекательность потенциальных проектов производства раннего картофеля при спринклерном орошении, наряду с исследованием денежных потоков были определены и сроки окупаемости проектов. Так как полный цикл производства и реализации товарной части урожая картофеля соответствует календарному году, то расчетные значения срока окупаемости округляли в большую сторону до года.

Результаты 1 этапа анализа экономической эффективности производства раннего картофеля при спринклерном орошении приведены в таблице 5.4. Расчеты показали, что совокупные затраты, необходимые для эффективного производства раннего картофеля, достаточно велики и достигают 268,07-333,6 тыс. руб.

Таблица 5.4 - Экономика производства раннего картофеля при спринклерном орошении

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Совокупные затраты, руб./га	Выручка, руб./га	Себестоимость товарной продукции, руб./кг	Чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	302610	501250	7,5	198640	65,6
	В2 (в междурядье)	302610	501250	7,5	198640	65,6
	В3 (в рядке)	302720	502500	7,5	199780	66,0
Посадка в двоянный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	333710	513750	8,1	180040	54,0
	В2 (в междурядье)	333600	512500	8,1	178900	53,6
	В3 (в рядке)	333600	512500	8,1	178900	53,6
Посадка в двоянный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	309870	583750	6,6	273880	88,4
	В2 (в междурядье)	297870	521250	7,1	223380	75,0
	В3 (в рядке)	324210	663750	6,1	339540	104,7
Посадка в двоянный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	279850	481250	7,3	201400	72,0
	В2 (в междурядье)	268070	421250	8,0	153180	57,1
	В3 (в рядке)	294630	566250	6,5	271620	92,2

Почти половина всех этих затрат приходится на закупку высококачественного посадочного материала. Этим определяется и существенная зависимость произведенных затрат от способа посадки раннего картофеля, определяющего плотность размещения растений. Так, наибольшие затраты, 333,6 тыс. руб., на возделывании картофеля были сделаны при использовании способа посадки в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м. На участках этого варианта густота посадок достигала 67 тыс. раст./га. Наименьшие затраты, 268,07 тыс. руб., для завершения полного цикла работ по возделыванию раннего картофеля потребовались на участках, где посадку семенных клубней проводили в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,7$  м. Плотность размещения растений при этом не превышала 50 тыс. раст./га.

Исследования показали, что затраты на качественный посадочный материал и возделывание картофеля в ранней культуре с применением систем спринклерного орошения с избытком окупается выручкой от реализации урожая товарных клубней. На контроле выручка от реализации урожая картофеля при средней цене 12,5 руб./кг составила 501,25 тыс. руб./га, а на наиболее продуктивном в опыте варианте – 663,75 тыс. руб./га. Чистый доход от производственной деятельности по вариантам опыта изменялся от 153,18 до 339,54 тыс. руб.

Наилучший результат с позиций экономической эффективности производства раннего картофеля был получен на участках, где посадку проводили по технологии «сдвоенного» рядка с междурядным расстоянием 0,9 м (формула посадки  $0,5 \times 0,9$  м), а поливы назначали по данным инструментального контроля в зоне размещения растений (в рядке, вариант В3). Такое сочетание исследуемых факторов позволило сформировать наиболее продуктивный картофельный агроценоз со средней себестоимостью товарных клубней не более 6,1 руб./кг и возможность получения до 339,54 тыс. руб. чистого дохода при рентабельности производства не менее 104,7 %.

Самая низкая экономическая эффективность производства раннего картофеля при спринклерном орошении была получена при посадке клубней в «сдвоенный» рядок с междурядным расстоянием 1,1 м (формула посадки  $0,5 \times 1,1$  м) в сочетании с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в

междурядье. Следует признать, что и при таком сочетании факторов производство осталось рентабельным, 57,1 %, чистый доход по итогам года в среднем был равен 153,18 тыс. руб./га, а себестоимость продукции составила 8,0 руб./кг.

На контрольном варианте, где посадку картофеля проводили в гребень через 0,7 м, себестоимость товарных клубней картофеля составила 7,5 руб./кг, чистый доход от реализации продукции составил 198,64 тыс. руб./га, а рентабельность производства находилась на уровне 65,6 %.

Результаты оценки инвестиционной привлекательности потенциальных проектов возделывания раннего картофеля при спринклерном орошении приведены в таблице 5.5. При расчете интегральных показателей, характеризующих инвестиционную привлекательность проектов, принималась во внимание необходимость приобретения и монтажа системы спринклерного орошения, то есть организации производства с нуля. Продолжительность расчетного периода реализации проекта принята равной 5 годам, а расчетная площадь по проекту – 2 га. Стоимость системы спринклерного орошения в совокупности с услугами по «шеф-монтажу» составила 140 тыс. руб./га, что не превышает 10,1-12,2 % от общих затрат по проекту. Все расчеты проведены с учетом дисконтирования разновременных денежных потоков. Норма дисконта принята равной 17 %.

Расчеты показали, что накопленный дисконтированный отток по проекту за 5 лет достигает значений 2286,9-2778,3 тыс. руб. Наибольшие вложения, 816,14-947,42 тыс. руб., денежных средств требуются в первый год проекта при создании инженерной инфраструктуры с нуля. В последующие годы, преобладают, преимущественно, эксплуатационные затраты и затраты на обслуживание элементов систем спринклерного орошения.

По всем вариантам опыта инвестиции в проект производства раннего картофеля при спринклерном орошении окупались в результате притока реальных денег от выручки с продаж товарной продукции. Накопленный приток денежных средств по проекту за 5 лет с учетом дисконтирования составил 2695,4- 4247,1 тыс. руб. Как видно, интервал между наибольшими и наименьшими значениями притока реальных денег по вариантам опыта был более полутора миллиона

Таблица 5.5 – Интегральные показатели инвестиционной привлекательности проектов спринклерного орошения раннего картофеля (расчетная площадь 2 га, расчетный период 5 лет)

Вариант способа посадки картофеля	Вариант контроля влажности почвы	Накопленный дисконтированный отток, руб.			Накопленный дисконтированный приток, руб.	Чистый дисконтированный доход, руб.	Индекс доходности дисконтированных затрат	Срок окупаемости, лет
		Всего	В том числе на приобретение и монтаж системы капельного орошения					
			руб.	в % к общим затратам				
А1 (контроль)	В1 (контроль)	2545481	280000	11,0	3207345	661864	1,26	2
	В2	2545481	280000	11,0	3207345	661864	1,26	2
	В3	2546304	280000	11,0	3215343	669039	1,26	2
А2	В1	2778310	280000	10,1	3287328	509018	1,18	2
	В2	2777486	280000	10,1	3279330	501844	1,18	2
	В3	2777486	280000	10,1	3279330	501844	1,18	2
А3	В1	2599832	280000	10,8	3735237	1135405	1,44	1
	В2	2509995	280000	11,2	3335318	825323	1,33	1
	В3	2707188	280000	10,3	4247132	1539944	1,57	1
А4	В1	2375089	280000	11,8	3079371	704282	1,30	2
	В2	2286898	280000	12,2	2695449	408551	1,18	2
	В3	2485739	280000	11,3	3623260	1137521	1,46	1



рублей (1551,7 тыс. руб.), что характеризует значимость оптимизации агротехнологических приемов возделывания картофеля при спринклерном орошении.

Чистый дисконтированный доход, накопленный по проекту за 5 лет, по вариантам опыта изменялся от 408,5 до 1539,9 тыс. руб. Это один из самых важных интегральных показателей, характеризующий эффективность инвестиционного проекта в целом. Инвестиционный проект будет считаться эффективным, если величина чистого дохода с учетом дисконтирования больше нуля. В тоже время понятно, что чем больше положительные значения чистого дисконтированного дохода, тем более привлекательным выглядит проект для потенциальных инвесторов. Расчеты, проведенные по данным контрольного варианта опытов (посадка в гребень через 0,7 м), показали возможность получения 669,0 тыс. руб. чистого дисконтированного дохода за 5 лет с расчетной площади 2 га. Это на 870,9 тыс. руб. меньше наилучшего полученного результата.

Переход на ленточную технологию посадки картофеля (в «сдвоенный» рядок) с междурядьем 0,7 м (формула посадки  $0,5 \times 0,7$  м) из-за уплотнения посадок потребовал увеличения затрат на закупку семенных клубней, которые не окупились увеличением продуктивности раннего картофеля. В результате величина чистого дисконтированного дохода по проекту снизилась до 509,0 тыс. руб. В тоже время наибольший чистый дисконтированный доход по проекту, 1539,9 тыс. руб., был получен при посадке картофеля в «сдвоенный» рядок с междурядьем 0,9 м (формула посадки  $0,5 \times 0,9$  м). При этом поливы на инвестиционно наиболее привлекательном варианте опыта назначались по результатам контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке).

Использование технологии посадки картофеля в «сдвоенный» рядок с междурядным расстоянием 1,1 м (формула посадки  $0,5 \times 1,1$  м) в сочетании с организацией контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений обеспечило возможность получения 1137,5 тыс. руб. чистого дисконтированного дохода по проекту. Это второй по привлекательности с точки зрения инвестиционной деятельности результат, полученный по данным полевого опыта. Вместе с тем при организации контроля предполивной влажности почвы в междурядье на фоне по-

садки в «сдвоенный» рядок с междурядным расстоянием 1,1 м величина чистого дисконтированного дохода, накопленного по проекту за 5 лет, не превышала 408,5 тыс. руб.

Таким образом, с точки зрения формирования инвестиционно-привлекательных проектов при посадке картофеля по технологии «сдвоенного» рядка с междурядьями 0,9 м и более, важно организовать инструментальный контроль предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке). Посадка в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9$  м в сочетании с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) обеспечивает формирование наиболее привлекательных для инвестиций проектов с чистым дисконтированным доходом свыше полтора миллионов рублей (1539,9 тыс. руб.) и индексом доходности вложенных затрат не менее 1,57. Срок окупаемости проекта при соблюдении указанных условий не превышает 1 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование спринклерного орошения картофеля при оптимизации параметров посадки и водного режима почвы обеспечивает возможность получения свыше 50 т/га товарных клубней при рациональном использовании водных ресурсов.

Сравнение на фоне спринклерного орошения эффективности широкорядного способа посадки картофеля с междурядьями 0,7 м и ленточного способа посадки картофеля с формированием «сдвоенного» ряда показал статистически значимое преимущество последнего с возможностью увеличения урожая клубней на 32,1 %. Наибольшая урожайность товарных клубней, 49,7-56,2 т/га, получена при посадке картофеля по технологии «сдвоенного» ряда с формулой посадки 0,5×0,9 м.

При увеличении расстояния между соседними лентами растений до 0,9 м и более на фоне спринклерного орошения наблюдается существенная дифференциация динамики водного режима почвы в рядке и междурядье. Последнее является следствием функции отбора влаги корневой системой растений, которая характеризует существенное усиление процесса в зонах с высокой плотностью размещения корней, и дифференциацией плотности размещения корней в горизонтальной плоскости при междурядных расстояниях 0,9 м и более.

Расхождения по динамике водного режима почвы в рядке и междурядье наблюдаются с начала фазы цветения, имеют тенденцию постепенному росту по линейному закону и к концу вегетационного периода достигают, в среднем 8-9 % НВ. При этом в зависимости от размещения зоны инструментального контроля предполивной влажности имеют место следующие особенности формирования водного режима почвы:

– при контроле влажности почвы по смешанному типу, по средней пробе из рядка и междурядий, предполивное содержание почвенной влаги в зоне размещения растений при заданном уровне 80 % НВ к концу сезона снижается до 76 % НВ, тогда как в междурядье влажность почвы перед поливом достигает 84 %;

– при контроле влажности почвы в междурядье предполивное содержание почвенной влаги в зоне размещения растений к концу сезона снижается до 71 %

НВ; при этом в междурядье заданный порог предполивной влажности почвы, 80 % НВ, выдерживается;

– при контроле влажности почвы в рядке предполивное содержание почвенной влаги в зоне размещения растений поддерживается на заданном уровне, 80 % НВ; при этом в междурядье наблюдается существенный тренд к росту предполивного уровня влажности почвы до 88 % НВ.

Суммарное водопотребление картофеля при спринклерном орошении составляет, в среднем, 3307-3673 м<sup>3</sup>/га, изменяясь в зависимости от параметров посадки и особенностей формирования водного режима почвы при организации инструментального контроля предполивной влажности в разных зонах. Отмечен рост суммарного водопотребления на 10,5 % при использовании ленточного способа посадки и увеличении ширины междурядий с 0,7 до 0,9 м. При дальнейшем увеличении ширины междурядий, с 0,9 до 1,1 м наблюдается снижение суммарного водопотребления картофеля на 150 м<sup>3</sup>/га. В среднем, от 56,5 до 69,4 % суммарного водопотребления восполняется за счет подачи оросительной воды.

Влияние вариантов организации инструментального контроля порога предполивной влажности почвы на продолжительность межфазных периодов проявляется только в сочетании с посадкой картофеля ленточным способом при междурядном расстоянии 0,9 м и более. При этом с переходом от зоны контроля влажности почвы в междурядье к организации инструментального контроля предполивного порога в рядке продолжительность вегетационного периода картофеля возрастала, в среднем, на 4-6 суток.

Наиболее развитые посадки картофеля, с максимальной площадью листьев 44,6 тыс. м<sup>2</sup>/га, формированием 2170 тыс. м<sup>2</sup> дней/га фотосинтетического потенциала, средневзвешенными значениями продуктивности фотосинтеза на уровне 5,43 г/м<sup>2</sup> в сут., биомассой 11,78 т/га, формируются при использовании ленточного способа посадки по технологии «сдвоенного» рядка в сочетании с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке). При организации контроля предполивной влажности почвы в междурядье сухая биомасса картофеля снижалась, в среднем, на 22 %, за счет

снижения общей динамики формирования фотосинтетического потенциала (на 17 %) и продуктивности фотосинтеза (на 5 %). Увеличение междурядного расстояния с 0,9 м до 1,1 м или его сокращение до 0,7 м сопровождается снижением накопленной биомассы картофеля на 3-7 %.

Переход на технологию посадки картофеля в «сдвоенный» рядок в сочетании с увеличением междурядного расстояния с 0,7 м до 0,9 м и организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) сопровождался увеличением среднего числа товарных клубней с одного растения с 8,7-8,8 до 9,8 шт. и средней массы одного клубня – с 80-81 г до 95 г. При этом с переходом на технологию посадки в «сдвоенный» рядок с сохранением междурядного расстояния 0,7 м среднее число товарных клубней на растении снижалось до 7,9-8,1 шт., а средняя масса клубня не превышала 76-77 г.

С увеличением междурядного расстояния при посадке картофеля ленточным способом на фоне спринклерного орошения с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в рядке статистически значимо возрастает доля средней и крупной фракции клубней картофеля и существенно снижается доля мелкой фракции. Получение наибольшей доли средней (85 %) и крупной (34,8-37,5 %) фракции при одновременном снижении доли мелкой фракции клубней до 1,6-2,4 % обеспечивается при посадке картофеля по технологии «сдвоенного» рядка с междурядным расстоянием 0,9 и 1,1 м в сочетании с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений.

Получение наибольшей урожайности товарных клубней, 49,7-56,2 т/га, обеспечивается при сочетании посадки картофеля по технологии «сдвоенного» рядка и организации инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений. При этом выход товарных клубней достигает 97,1 %.

Контроль предполивной влажности почвы в зоне размещения растений в сравнении с альтернативными способами контроля (в междурядье и по смешанному типу) наряду с общим увеличением суммарного водопотребления посадок обеспечивает наиболее экономное расходование влаги на формирование урожая.

Наименьшие затраты воды на формирование урожая,  $69,4 \text{ м}^3/\text{т}$ , обеспечиваются, если поливы проводить при достижении влажности почвы в зоне размещения растений предполивного уровня, а для посадки использовать технологию «сдвоенного» ряда с междурядным расстоянием  $0,9 \text{ м}$ .

Посадка в «сдвоенный» рядок по формуле  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$  в сочетании с организацией инструментального контроля предполивной влажности почвы в зоне размещения растений (в рядке) обеспечивает формирование наиболее привлекательных для инвестиций проектов с индексом доходности вложенных затрат не менее  $1,57$  и сроком окупаемости – не более 1 года.

#### **Производству рекомендуется:**

– при возделывании в сухостепной зоне светло-каштановых почв Нижнего Поволжья ранних сортов картофеля применять спринклерное орошение, что при использовании обоснованных параметров посадки с учетом особенностей формирования водного режима почвы обеспечивает возможность получения свыше  $50 \text{ т/га}$  товарных клубней;

– использовать ленточный способ посадки картофеля в «сдвоенный» рядок с параметрами посадки  $0,5 \times 0,9 \text{ м}$ , чем обеспечиваются наилучшие показатели структуры урожая и наибольший выход стандартной продукции;

– контроль предполивной влажности почвы осуществлять в рядке, что позволяет поддерживать заданный водный режим в зоне размещения растений и получать до  $49,7\text{-}56,2 \text{ т/га}$  товарных клубней картофеля при минимальных затратах воды на формирование урожая

Перспективы дальнейшей разработки направления исследований видятся в расширении состава районированных сортов картофеля по разным группам спелости, исследовании возможности использования освежительных поливов, оценке эффективности использования разных конструкций спринклеров для полива картофеля.

## Литература:

1. Агроклиматический справочник по Волгоградской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 43 с.
2. Андрианов, А.Д. Эффективность различных режимов капельного орошения при выращивании раннего картофеля / А.Д. Андрианов, Д.А. Андрианов // Агро XXI. – 2009. – № 4–6. – С. 44-46.
3. Андрианов, Д.А. Рациональное использование поливной воды в орошении раннего картофеля / Д.А. Андрианов, А.Д. Андрианов // Перспективы развития производства продовольственных ресурсов и рынка продуктов питания: материалы международной научно-практической конференции (в рамках VIII международной специализированной выставки "ПродУрал-2002" ). – 2002. – С. 94-96.
4. Анисимов, Б.В. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков / Б.В. Анисимов, Г. Л. Белов, Ю. А. Варицев, С. Н. Еланский. — М.:Картофелевод, 2009. — 272 с.
5. Астапов, С.В. Мелиоративное почвоведение (практикум) / С.В. Астапов. - М.: Сельхозиздат, 1968. - 412 с.
6. Бородычев, В.В. Приемы возделывания картофеля летних посадок при капельном орошении / В.В. Бородычев, С.А. Курбанов, И.А. Дергачева, В.И. Кузнецов // Проблемы развития АПК региона. – 2014. – Т. 20. – № 4 (20). – С. 14-17.
7. Букасов, С.М. Культурная флора СССР. Картофель. / С.М. Букасов, В.С. Лехнович, А.Я. Камераз и др. (коллектив авторов). – Л.: Колос, 1971. – 450 с.
8. Васильев, А.А. Результаты многофакторных исследований по картофелю в условиях лесостепной зоны Южного Урала /А.А. Васильев //Достижения науки и техники АПК. –2012. – № 12. – С. 32-35.
9. Васильев, А.А. Влияние густоты посадки и уровня минерального питания на величину и качество урожая картофеля /А.А. Васильев //Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1 (25). – С. 27-29.

10. Вершинин, В.В. Оценка эффективности орошения в аридных условиях / В.В. Вершинин, А.О. Хуторова, А.В. Шуравилин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2013. – № 7 (103). – С. 22-29.
11. Виленский, П.Л. Оценка инвестиционных проектов/ П.Л. Виленский, В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк. – М.: Дело, 2004. – 888 с.
12. Владимиров, В.П. Пути повышения использования фотосинтетически активной радиации при возделывании картофеля в условиях лесостепи Среднего Поволжья /В.П. Владимиров // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 8. – № 4 (30). – С. 103-108.
13. Волощенко, С. Картофель на спринклерном орошении – перспективная инновация для фермеров / С. Волощенко, Л. Волощенко // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 603.
14. Волощенко, С.С. Влияние сплинклерного орошения на урожайность картофеля / С.С. Волощенко, А.С. Шило, И.А. Навальнева, И.С. Буковцова // Белгородский агромир. – 2013. – № 7 (80). – С. 19-21.
15. Воробьев, С.А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению и земледелию / С.А. Воробьев, М.Г. Аваев. - М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1961. - 328 с.
16. Гаврилица, О.А. Современные проблемы дождевания/ О.А. Гаврилица. – Кишинев: НИИ водных проблем и мелиорации, 1993. – 338 с.
17. Гаврилов, А.М. Инновационная технология возделывания картофеля при капельном орошении на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья / А.М. Гаврилов, В.М. Жидков, В.В. Захаров // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 4. – С. 15-16.
18. Гарьянова, Е.Д. Оптимизация отдельных агроприемов в технологии возделывания раннего картофеля в условиях орошения / Е.Д. Гарьянова, Г.В. Гуляева, Н.А. Петрова, Н.А. Токарев, П.В. Герасимов // Аграрный вестник Урала. – 2013. – № 4 (110). – С. 48-49.



19. Гиль, Л. С. Современное промышленное производство овощей и картофеля с использованием систем капельного орошения / Л. С. Гиль, В. И. Дьяченко, А. И. Пашковский, Л. Т. Сулима. – Ж.: ЧП «РУТА», 2007. – 390 с.
20. Главный каталог: автоматические системы орошения Urapivot. – Madrid: Chamsa, 2012. – 22 с.
21. Глобус, А.М. Экспериментальная гидрофизика почв / А.М. Глобус. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1969. – 356 с.
22. ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор проб. – М.: Стандартинформ, 2008. – 6 с.
23. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Стандартинформ, 2000. – 16 с.
24. ГОСТ 7176-85 Картофель свежий, продовольственный, заготавливаемый и поставляемый. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2010. – 5 с.
25. Граскова, И.А. Влияние гипо- и гипертермии на заражение картофеля возбудителем кольцевой гнили / И.А. Граскова, А.В. Колесниченко, В.К. Войников // Журнал стресс-физиологии и биохимии. – 2006. – Т. 2. – № 2. – С. 17-22.
26. Гусев, С.А. Хранение картофеля / С.А. Гусев, Л.В. Метлицкий. – М.: Колос, 1982. – 221 с.
27. Давлятназарова, З.Б. Биохимические аспекты устойчивости разночувствительных генотипов картофеля к солевому стрессу / З.Б. Давлятназарова, З.С. Киёмова, У.К. Алиев, М.Х. Шукурова, И.С. Каспарова, К.А. Алиев // Известия Академии наук Республики Таджикистан. – Отделение биологических и медицинских наук. – 2012. – № 3 (180). – С. 43-49.
28. Давлятназарова, З.Б., Влияние засоления и засухи на прои антиоксиданты хлоропластов растений картофеля / З.Б. Давлятназарова, З.С. Киёмова, Н.Х. Норкулов, С.Х. Ашуров, К.А. Алиев // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2013. – Т. 56. – № 9. – С. 745-749.
29. Дегтярева, Е.Т. Почвы Волгоградской области / Е.Т. Дегтярева, А.Н. Жулидова – Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во, 1970. – 321 с.

30. Дождевальная машина кругового действия ДМУ «Фрегат-Н» с комплектом дождеобразующих устройств для работы на пониженном напоре: протокол испытаний № 03-42-05. – Владимир: ФГУ «Владимирская государственная зональная машиноиспытательная станция», 2005. – 6 с.
31. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
32. Дружинин, В.С. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / В.С. Дружинин, А.В. Сикан. – СПб: РГГМУ, 2001. – 167 с.
33. Дубенок, Н.Н. Агроэкологические аспекты определения водно-физических свойств почв и их изменение во времени / Н.Н. Дубенок, Н.М. Павлюхина, М.В. Климахина // Экологические проблемы почвоведения. -М., 1999. - С. 107-128
34. Дубенок, Н.Н. Водопотребление и продуктивность раннего картофеля при спринклерном орошении / Н.Н. Дубенок, Р.А. Чечко, А.Ф. Дружкин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 15-18.
35. Дубенок, Н.Н. Продуктивность картофеля при спринклерном орошении / Н.Н. Дубенок, Р.А. Чечко, А.Ф. Дружкин // Плодородие. – 2015. – № 1 (82). – С. 35-37.
36. Жидков, В.М. Режимы орошения картофеля при капельном поливе на светло-каштановых почвах волгоградской области /В.М. Жидков, В.В.Захаров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 2. – С. 22-26.
37. Жолкевич, В.Н. Водный обмен растений / В.Н. Жолкевич, Н.А. Гусев, А.В. Капля и др. (коллектив авторов). – М.: Наука, 1989. – 256 с.
38. Захаров, Р.Ю. Рекомендации по технической модернизации дождевальных машин BAUER-LINESTAR 5000 / Р.Ю. Захаров. – Строительство и техногенная безопасность. – 2007. – №20. – С. 126-129
39. Иванова, Н.В. Влияние современных гербицидов на урожайность и качество картофеля /Н.В Иванова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2010. – № 9. – С. 122-125.

40. Ивенин, В.В. Капельное орошение и продуктивность посадок картофеля в Нижегородской области / В.В. Ивенин, А.В. Ивенин, С.П. Тихонов, В.М. Банников // Актуальные проблемы земледелия Евро-Северо-Востока РФ: сборник научных трудов. – Нижний Новгород, 2013. – С. 137-143.
41. Ивенин, В.В. Основные элементы технологии интенсивного выращивания раннего картофеля / В.В. Ивенин, А.В. Ивенин, С.П. Тихонов, А.М. Магомедкаsumов // Картофель и овощи. – 2012. – № 4. – С. 3.
42. Калиева Л.Т. Влияние инсектицидов на фотосинтетический потенциал и урожайность картофеля в условиях Западно-Казахстанской области/ Л.Т. Калиева, И.Д. Еськов // Аграрный научный журнал. – 2013. – № 1. – С. 8-11.
43. Карманов, С.Н. Урожай и качество картофеля / С.Н. Карманов, В.П. Кирюхин, А.В. Коршунов. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 170 с.
44. Качинский, Н.А. Физика почв / Н.А. Качинский. - М.: Высшая школа, 1970. - 340 с.
45. Качурин, Л.Г. Методы метеорологических измерений / Л.Г. Качурин. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 457 с.
46. Кирейчева, Л.В. Повышение эффективности капельного орошения на легких полупустынных почвах / Л.В. Кирейчева, А.В. Шуравилин, М.А. Табук // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2013. – № 4. – С. 39-41.
47. Кирюшин, В.И. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий : методическое руководство / В.И. Кирюшин. – Москва: Росинформагротех, 2005. - 783 с.
48. Ковальчук, В.П. Сборник методов исследования почв и растений / В.П. Ковальчук, В.Г. Васильев, Л.В. Бойко, В.Д. Зосимов. – Киев: Труд-ГриПол – XXI век, 2010. – 252 с.
49. Комиссаров, А.В. Способы орошения и урожайность картофеля в лесостепной зоне республики Башкортостан / А.В. Комиссаров, М.Г. Ишбулатов, И.Р. Салихов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 4. – № 36-1. – С. 53-55.

50. Коринец, В.В. Варианты технологии возделывания картофеля в аридной зоне / В.В. Коринец, В.А. Шляхов, Н.К. Дубровин, Р.И. Дубин // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 11. – С. 29-30.
51. Коршунов, А.В. Орошение и удобрение - гаранты высоких урожаев картофеля / А.В. Коршунов, Р.Л. Рахимов // Картофель и овощи. – 2011. – № 6. – С. 7.
52. Коршунов, А.В. Уроки засухи в картофелеводстве / А.В. Коршунов, Л.Н. Кутовенко, Ю.Н. Лысенко, Р.Л. Рахимов // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 3. – С. 21-23.
53. Костяков, А.Н. Основы мелиорации / А.Н. Костяков – М.: Сельхозгиз, 1960. – 621 с.
54. Кошкин, Е.И. Частная физиология полевых культур / Е.И. Кошкин, О.Ф. Панфилова, Н.В. Пильщикова. Москва: Изд-во РГАУ - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2010. - 210 с.
55. Кружилин, И.П. Агротелиоративная оценка влагообеспеченности территории Нижнего Поволжья / И.П. Кружилин. – Волгоград: ВСХИ, 1976. – 65 с.
56. Кружилин, И.П. Как получить ранний картофель на орошаемых землях / И.П. Кружилин, А.А. Навитняя, О.Г. Гиченкова // Адаптивные системы и природоохранные технологии производства с.-х. продукции в аридных районах Волго-Донской провинции. – Москва: ПНИИАЗ, 2003. - С. 318-321
57. Кружилин, И.П. Особенности производство картофеля в условиях Нижнего Поволжья / И.П. Кружилин, В.В. Мелихов, А.А. Навитняя, О.Г. Гиченкова // Видовое разнообразие и динамика развития природных и производственных комплексов Нижней Волги. – Москва: ПНИИАЗ, 2003. – Т. 1. - С. 329-341
58. Кружилин, И.П. Ранний урожай на орошаемых землях / И.П. Кружилин, А.А. Навитняя, О.Г. Гиченкова // Картофель и овощи. – 2003. – N 2. – С. 8-9
59. Кружилин, И.П. Эффективность возделывания картофеля при орошении в степной зоне Урала / И.П. Кружилин, Н.Н. Дубенок, А.А. Мушинский, А.П. Несват // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2015. – № 1-2. – С. 23-26.

60. Кулыгин, В.А. Влияние разных режимов орошения на эффективность использования оросительной воды при возделывании овощных культур и картофеля / В.А.Кулыгин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 65. – С. 339-348.

61. Кулыгин, В.А. Влияние фрезерования почвы на условия вегетации и урожайность картофеля при орошении / В.А.Кулыгин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2005. – № 13. – С. 56-60.

62. Кулыгин, В.А. Приемы повышения эффективности использования водных ресурсов при орошении овощных культур и картофеля / В.А. Кулыгин, Г.Т. Балакай, А.Н. Бабичев // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 4. – С. 111-118.

63. Кулыгин, В.А. Ресурсосберегающие приемы орошения и минерального питания при возделывании картофеля / В.А.Кулыгин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 1 (17). – С. 13-25.

64. Кулыгин, В.А. Способы основной обработки почвы при возделывании картофеля на орошении / В.А.Кулыгин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 3 (15). – С. 16-26.

65. Кушнарев, А.Г. Физиология засухоустойчивости картофеля в сухостепных агроландшафтах Забайкалья / А.Г. Кушнарев, Д.Ф. Маляров // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2008. – № 1. – С. 56-59.

66. Лаврова, В.В. Реакция устьичного аппарата растений картофеля на действие кратковременных ежесуточных снижений температуры и заражение фитопаразитической нематодой / В.В. Лаврова, Е.Н. Икконен, Е.М. Матвеева, М.И. Сысоева // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2014. – № 5. – С. 163-166.

67. Лымарь, А.О. Экологические основы систем орошаемого земледелия / А.О. Лымарь. – Киев: Аграрная наука, 1997. – 401 с.

68. Малейкина, Г.П. Влияние удобрений на урожайность и качество клубней картофеля /Г.П. Малейкина // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 7 (61). – С. 61-63.

69. Мартиросян, Ю.Ц. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения /Ю.Ц. Мартиросян,М.Н. Полякова,Т.А. Диловарова,А.А. Кособрюхов // Сельскохозяйственная биология. – 2013.– № 1. – С. 107-112.

70. Махмудпур, А.Р. Процесс и значение орошения картофеля /А.Р. Махмудпур, М.С. Норов // Кишоварз. – 2013. – Т. 4. – С. 105-109.

71. Мезенцев, В.С. Расчеты водного баланса: Учебное пособие / В.С. Мезенцев. – Омск: ОмСХИ, 1973. – 79 с.

72. Мелиорация земель / Под ред. А.И. Голованова. — М.: Колосс, 2011. — 824 с.

73. Мелихов, В.В. Коэффициент водопотребления как критерий эффективного промышленного производства раннего картофеля / В.В. Мелихов, А.А. Новиков // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – №4. – С. 38-40

74. Мелихов, В.В. Оптимальный режим капельного орошения и минерального питания раннего картофеля / В.В. Мелихов, А.А. Новиков // Картофель и овощи. – 2011. – № 8. – С. 16-17.

75. Мелихов, В.В. Эффективность удобрения раннего картофеля при капельном орошении / В.В. Мелихов, А.А. Новиков // Плодородие. – 2011. – №5. – С. 25-27

76. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М.: Колос, 1971. - Вып. 2. – 239 с.

77. Моисеев, Ю.Ф. Урожайность картофеля в зависимости от агротехнических приемов возделывания /Ю.Ф. Моисеев,А.А. Самаркин,Л.Г. Шашкаров // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 7. – № 2 (24). – С. 107-109.

78. Муромцев, Н.А. Тензиометры как почвенные влагомеры и индикаторы полива растений / Н.А. Муромцев. – М.: Издательство Почвенного института, 1981. – 31 с.

79. Мусаев, М.Р. Продуктивность раннего картофеля в условиях равнинного Дагестана в зависимости от режима орошения / М.Р. Мусаев, А.А. Магомедова // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51. – № 2. – С. 259-263.

80. Мякишева, Е.П. Влияние качества света на содержание фотосинтетических пигментов картофеля (*Solanum Tuberosum* L.) в культуре IN VITRO / Е.П. Мякишева, Г.Г. Соколова // Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – Т. 2. – № 3. – С. 46-49.

81. Навитня, А.А. Летние посадки важный резерв повышения эффективности использования завозных исходных семян / А.А. Навитня, И.А. Дергачева // Картофель и овощи. – 2009. – № 9. – С. 21-22.

82. Нарушев, В.Б. Приемы адаптивной технологии возделывания картофеля в саратовской области / В.Б. Нарушев, Е.А. Нарушева, Т.И. Хоришко // Вавиловские чтения – 2013: сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 126-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ. – Саратов: ФГОУ ВПО "Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова" – 2013. – С. 70-71.

83. Нарушев, В.Б. Продуктивность картофеля в зависимости от приемов возделывания в лесостепной зоне Саратовского правобережья / В.Б. Нарушев, Л.Ю. Лаврик // Аграрный научный журнал. – 2009. – № 11. – С. 31-34.

84. Нарушев, В.Б. Разработка инновационных приемов технологии возделывания картофеля в Степном Поволжье / В.Б. Нарушев, С.А. Преймак, Т.И. Хоришко // Вавиловские чтения – 2014: сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 127-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. – Саратов: ФГОУ ВПО "Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова" – 2014. – С. 61-62.

85. Нарушев, В.Б. Ресурсосберегающая экологически безопасная технология возделывания картофеля в Поволжье / В.Б. Нарушев, Е.А. Нарушева, Л.Ю. Лаврик // Вавиловские чтения – 2008: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Саратовского госагроуниверситета. – Сара-

тов: ФГОУ ВПО "Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова". – 2008. – С. 109-110.

86. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович, А.Е. Строганова, С.Н. Чмора, М.П. Власова – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 136 с.

87. Новиков, А.Е. Экологически безопасные приёмы мелиорации почвы при возделывании пропашных культур / А.Е. Новиков, В.Г.Абезин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 4. – С. 236-243.

88. Ольгаренко, В.И. Возделывание картофеля летней посадки в условиях орошения на пойменных землях юга России /В.И.Ольгаренко /// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 107. – С. 207-218.

89. Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко, М. Ф. Трифонова, А. Х. Заверюха, В. Е. Ещенко. – М.: Колос, 1996. – 336 с.

90. Остапчик, В.П. Биоклиматический метод расчета испарения с орошаемых с орошаемых земель / В.П. Остапчик, П.А. Филипенко, Р.М. Гайдаров //Гидротехника и мелиорация. – 1980. - № 1. – С. 39-41.

91. Павлова, М.С. Практикум по агрометеорологии / М.С. Павлова. - М., 1974. - 214 с.

92. Павлович А.А. Современные технологии и технические средства для возделывания, уборки и хранения картофеля / А.А. Павлович, А.Л. Рапинчук, С.А. Банадысев. – Минск, 2000. – 52 с.

93. Пигорев, И.Я. Технологические приемы возделывания картофеля /И.Я. Пигорев,Э.В. Засорина // Аграрная наука. – 2005. – № 8. – С. 19-23.

94. Плешаков, В.Н. Методика полевого опыта в условиях орошения / В.Н. Плешаков. - Волгоград: ВНИИОЗ, 1983.- 148 с.

95. Плюснин, И.И. Мелиоративное почвоведение / И.И. Плюснин. – М.: Колос, 1971. – 416 с.



96. Полищук, С.Ф. Справочник по качеству овощей и картофеля / С.Ф. Полищук, А.В. Горкуценко, М.А. Склярский и др. (коллектив авторов). – Киев: Урожай, 1991. – 224 с.
97. Попкова, К.В. Болезни картофеля / К.В. Попкова, А.С. Воловик, Ю.И. Шнейдер, В.А. Шмыгля. – М.: Колос, 1980. - 304 с.
98. Попкова, К.В. Защита картофеля в условиях индустриальной технологии / К.В. Попкова, А.С. Воловик, Ю.И. Шнейдер, В.А. Шмыгля. – М.: Россельхозиздат, 1986. - 152 с.
99. Практикум по земледелию / И. П. Васильев, А. М. Туликов, Г. И. Баздырев и др. — М.: Колосс, 2004. — 424 с.
100. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнаухова, Л.А. Паничкин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
101. Прямов, С.Б. Выращивать картофель при орошении выгодно / С.Б. Прямов, К.А. Пшеченков, Е.А. Симаков, С.В. Мальцев // Картофель и овощи. – 2014. – № 2. – С. 30-31.
102. Радов, А.С. Практикум по агрохимии / А.С. Радов, И.В. Пустовой, А.В. Корольков. - М.: Колос, 1965. - 375 с.
103. Роде, А.А. Водный режим почв и его регулирование / А.А. Роде. – М.: изд. АН СССР, 1963. – 122 с.
104. Роде, А.А. Методы изучения водного режима почвы / А.А. Роде. – М.: АН СССР, 1960. – 250 с.
105. Сабинин, Д.А. Физиологические основы питания растений / Д.А. Сабинин. – М.: изд.-во АН СССР, 1955. – 512 с.
106. Салихов, И.Р. Влияние различных способов орошения на урожайность картофеля / И.Р. Салихов, М.Г. Ишбулатов // Инновации, экобезопасность, техника и технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2012. – С. 210-212.
107. Сенчуков, Г.А. Режим орошения картофеля в условиях Ростовской области / Г.А. Сенчуков, И.В. Новикова, Е.Н. Лунева // Инновационные пути развития

агропромышленного комплекса: задачи и перспективы Ростов: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2012. – С. 171-174.

108. Система определения влажности почвы CropSense [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agropolive.ru/opredelenie-vlazhnosti-pochvy.html> (Дата обращения 28.02.2015)

109. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

110. Сысоева, М.И. Влияние кратковременных ежесуточных снижений температуры на содержание фотосинтетических пигментов в листьях зараженного нематодой картофеля / М.И. Сысоева, В.В. Лаврова, Е.М. Матвеева // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2013. – № 3. – С. 194-199.

111. Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. – М.: «Гриф и К», 2007. – 616 с.

112. Туманян, А.Ф. Водопотребление картофеля при капельном способе полива в зависимости от товарной урожайности сортов / А.Ф. Туманян, Н.А. Щербакова, Н.В. Тютюма // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2012. – № 3. – С. 34-37.

113. Туманян, А.Ф. Скороспелые сорта картофеля для Астраханской области / А.Ф. Туманян // Аграрная наука. – 2010. – № 12. – С. 14-15.

114. Тютюма, Н.В. Различные сорта картофеля в аридных условиях Нижнего Поволжья / Н.В. Тютюма, Н.А. Щербакова // Аграрная наука. – 2012. – № 11. – С. 15.

115. Управление системами Lindsay. FIELDNET. – Omaha: Lindsay International, 2012. – 8 с.

116. Устименко, И.Ф. Картофель / И.Ф. Устименко, С.В. Бавровский. – Великие Луки: Изд-во ФБОУ ВПО «Великолукская ГСХА», 2011. – 75 с.

117. Федоренко, А. Картофель: современные методы интенсивного выращивания / А. Федоренко. – М.: ООО «Центральный Книжный Двор», ООО «МЦФ», 2002. – 160 с.

118. Федоров, В. В. Теория оптимального эксперимента / В.В. Федоров. – М.: Наука, 1971. – 312 с.
119. Федотов, В.А. Развитие, фотосинтетическая деятельность и урожайность сортов картофеля на обычном и интенсивном агрофонах / В.А. Федотов, А.Л. Саратовский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2010. – № 3. – С. 18-21.
120. Филин, В.И. Справочная книга по растениеводству с основами программирования урожая / В.И. Филин. Волгоград, 1994. – 274 с.
121. Фирсов, И.П. Оценка эффективности предпосадочной обработки почвы при возделывании картофеля / И.П. Фирсов, В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, Х.Н. Насибов // Международный технико-экономический журнал. – 2012. – № 4. – С. 82-87.
122. Фронтальные дождевальные установки Valley. – Nebraska: Valmont Industries, 2013. – 8 с.
123. Хайнц, А. Выращивание раннего картофеля / А. Хайнц. – М.: Агропромиздат: 1986. – 103 с.
124. Холов, Ф.Ш. Дневной ход транспирации генотипов картофеля в условиях средней широты Таджикистана / Ф.Ш. Холов, К.А. Алиев, К.Г. Кодиров, М.Х. Гафурова // Кишоварз. – 2010. – № 4. – С. 16а-17.
125. Чамышев, А.В. Пути повышения производства картофеля в Саратовской области / А.В. Чамышев, Е.А. Лебедева // Наука и общество. – 2011. – № 1. – С. 91-94.
126. Часовских, Н.П. Урожайность и качество картофеля в условиях орошения / Н.П. Часовских // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 3. – № 35-1. – С. 69-71.
127. Чекаев, Н.П. Урожайность и качество картофеля в зависимости от применяемой системы удобрений в условиях орошения / Н.П. Чекаев, Л.Т. Янаева // В сборнике: Инновационные технологии в АПК: теория и практика. – 2014. – С. 181-186.

128. Чиков, В.И. Формирование числа и массы клубней картофеля при различном уровне ассимилятов в растении / В.И. Чиков, Г.А. Сяляхова, Г.Ф. Сафиуллина, Ф.Ф. Замалиева // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2009. – Т. 151. – № 1. – С. 164-172.

129. Чиков, В.И. Фотосинтез, транспорт ассимилятов и продуктивность у растений картофеля, выращенных при разной освещенности / В.И. Чиков, Г.А. Сяляхова, Г.Ф. Сафиуллина, Ф.Ф. Замалиева // Сельскохозяйственная биология. – 2012. – № 1. – С. 72-77.

130. Чурзин, В.Н. Продуктивность сортов картофеля в зависимости от предшественников и удобрений при капельном орошении / В.Н. Чурзин, В.В. Захаров, А.М. Леденев // Аграрная наука. – 2008. – № 7. – С. 23-25.

131. Шабанов, В.В. Оптимизация режима орошения (на примере картофеля) / В.В. Шабанов, Э.С. Шаршеев / Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 3. – С. 26-29.

132. Шашко, Д.И. Агроклиматическое районирование СССР / Д.И. Шашко – М.: Колос, 1967. – 334 с.

133. Шестаков, Н.И. Урожайность картофеля в зависимости от приёмов обработки почвы перед посадкой / Н.И. Шестаков // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 11. – С. 23-24.

134. Широкозахватные ферменные дождевальные машины с электрическим приводом. ДМФЕ «Фрегат». – Первомайск, 2013. – 8 с.

135. Шляхов, В.А. Возделывание картофеля при капельном орошении / В.А. Шляхов, В.В. Коринец, В.М. Ермаков // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 10. – С. 34-35.

136. Шляхов, В.А. Особенности производства раннего картофеля в Астраханской области / В.А. Шляхов // Картофель и овощи. – 2008. – № 4. – С. 7.

137. Шляхов, В.А. Оценка технологического процесса возделывания картофеля при капельном орошении аридной зоны / В.А. Шляхов, Р.И. Дубин, В.Н. Самодуров, В.В. Коринец // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 12. – С. 55-57.

138. Шпаар, Д. Картофель / Д. Шпаар, Д. Дрегер, В. Иванюк, В. Кюрцингер и др. – Минск: ФУАинформ, 1999. - 271 с.

139. Шуравилин, А.В. Обоснование режимов увлажнения почв при капельном орошении картофеля в аридной зоне / А.В. Шуравилин, Ю.И. Сухарев, М.А. Табук, В.В. Бородычев // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2013. – № 3. – С. 45-52.

140. Шуравилин, А.В. Формирование контуров увлажнения при капельном орошении картофеля в супесчаных почвах с водоаккумулирующим слоем из природных материалов /А.В.Шуравилин, А. Ахмед, Т.И. Сурикова // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 23-27.

141. Щербакова, Н.А. Оценка сортов картофеля на орошении в условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья / Н.А. Щербакова,Н.В.Тютюма // Вестник Прикаспия. – 2013. – № 2. – С. 13-22.

142. Электронный каталог продукции компании Bauer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bauer-at.com/bauer/index.jsp> (дата обращения 13-15.02.2013)

143. Электронный каталог продукции компании Ирримек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.irrimec.com/prodotti.php> (дата обращения 11-16.03.2013).

144. Электронный каталог продукции компании ORTEX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ortech.ru/?b=prod&id=4> (дата обращения 04-07.04.2013)

145. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований / Ф.А. Юдин. – Методика агрохимических исследований. – М.: Колос, 1980. – 366 с.

146. BAUER [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.bauer-at.com/ru/products/irrigation> (Дата обращения 15-22.05.2014)

147. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage / Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. – 326 с.

148. IRRIFRANCE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://irrifrance.com/> (Дата обращения 25-27.06.2014)

149. IRRIFRANCE: оптимальное решение. Круговые и фронтальные дожде-  
вальные машины. – Paulhan: Irrifrance Group - Irrigation systems, 2012. – 60 с.

150. Lindsay: каталог ирригационной продукции. – Omaha: Lindsay  
International, 2012. – 44 с.

151. Valley Irrigation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.valley-ru.com/home.aspx> (Дата обращения 25-29.08.2014)

Продолжительность межфазных периодов роста и развития картофеля на опытном поле в 2012 г., сут.

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития						
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Начало отмирания ботвы - техническая спелость клубней	Посадка - техническая спелость клубней	Вегетационный период
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	16	23	10	24	11	84	68
	В2 (в междурядье)	16	23	10	24	11	84	68
	В3 (в рядке)	16	23	10	24	11	84	68
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	16	25	10	23	10	84	68
	В2 (в междурядье)	16	25	10	23	10	84	68
	В3 (в рядке)	16	25	10	23	10	84	68
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	16	25	10	25	11	87	71
	В2 (в междурядье)	16	25	10	23	10	84	68
	В3 (в рядке)	16	25	10	27	12	90	74
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	16	25	10	24	11	86	70
	В2 (в междурядье)	16	25	10	22	10	83	67
	В3 (в рядке)	16	25	10	26	11	88	72

Результаты дисперсионного анализа данных по продолжительности  
вегетационного периода картофеля в опытах 2012 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	380,7	47			
Фактор А	76,0	3	25,3	5,01	2,86
Фактор В	60,7	2	30,3	6,00	3,25
Взаимодействие АВ	62,0	6	10,3	2,04	2,36
Ошибка	182,0	36	5,1		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): не доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, сут.	Наименьшая существенная разность, сут.
Фактор А (Способ посадки картофеля)	0,92	1,55
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,79	1,34
Взаимодействие АВ	1,59	2,69



Продолжительность межфазных периодов роста и развития картофеля на опытном поле в 2013 г., сут.

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития						
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Начало отмирания ботвы - техническая спелость клубней	Посадка - техническая спелость клубней	Вегетационный период
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	18	21	10	26	10	85	67
	В2 (в междурядье)	18	21	10	26	10	85	67
	В3 (в рядке)	18	21	10	26	10	85	67
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	18	22	10	25	10	85	67
	В2 (в междурядье)	18	22	10	25	10	85	67
	В3 (в рядке)	18	22	10	25	10	85	67
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	18	23	10	27	10	88	70
	В2 (в междурядье)	18	23	10	24	9	84	66
	В3 (в рядке)	18	23	10	29	10	90	72
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	18	23	10	26	9	86	68
	В2 (в междурядье)	18	23	10	24	9	84	66
	В3 (в рядке)	18	23	10	27	10	88	70

Результаты дисперсионного анализа данных по продолжительности  
вегетационного периода картофеля в опытах 2013 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	312,7	47			
Фактор А	44,0	3	14,7	3,26	2,86
Фактор В	50,7	2	25,3	5,63	3,25
Взаимодействие АВ	56,0	6	9,3	2,07	2,36
Ошибка	162,0	36	4,5		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): не доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, сут.	Наименьшая существенная разность, сут.
Фактор А (Способ посадки картофеля)	0,87	1,46
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,75	1,27
Взаимодействие АВ	1,50	2,54

Продолжительность межфазных периодов роста и развития картофеля на опытном поле в 2014 г., сут.

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития						
		Посадка-всходы	Всходы - начало бутонизации	Начало бутонизации - цветение	Цветение - начало отмирания ботвы	Начало отмирания ботвы - техническая спелость клубней	Посадка - техническая спелость клубней	Вегетационный период
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	20	20	9	29	11	89	69
	В2 (в междурядье)	20	20	9	29	11	89	69
	В3 (в рядке)	20	20	9	29	11	89	69
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	20	20	9	29	10	88	68
	В2 (в междурядье)	20	20	9	29	10	88	68
	В3 (в рядке)	20	20	9	29	10	88	68
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	20	21	9	30	11	91	71
	В2 (в междурядье)	20	21	9	28	10	88	68
	В3 (в рядке)	20	21	9	32	11	93	73
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	20	21	9	29	11	90	70
	В2 (в междурядье)	20	21	9	27	10	87	67
	В3 (в рядке)	20	21	9	30	11	91	71

Результаты дисперсионного анализа данных по продолжительности  
вегетационного периода картофеля в опытах 2014 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	357,0	47			
Фактор А	43,7	3	14,6	2,30	2,86
Фактор В	42,0	2	21,0	3,32	3,25
Взаимодействие АВ	43,3	6	7,2	1,14	2,36
Ошибка	228,0	36	6,3		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : не доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): не доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, сут.	Наименьшая существенная разность, сут.
Фактор А (Способ посадки картофеля)	1,03	1,74
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,89	1,50
Взаимодействие АВ	1,78	3,01

Фактические значения площади листьев картофеля в опытных посадках 2012 г., тыс. м<sup>2</sup>/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубней
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	4,2	22,4	35,2	34,8	12,7
	В2 (в междурядье)	4,2	22,4	34,9	34,4	12,6
	В3 (в рядке)	4,2	22,5	35,4	34,8	12,7
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	4,6	24,7	37,9	35,4	13,2
	В2 (в междурядье)	4,6	24,7	37,7	35,2	13,2
	В3 (в рядке)	4,6	24,7	38,0	35,4	13,2
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	4,2	22,9	41,4	36,7	13,7
	В2 (в междурядье)	4,2	22,9	35,6	34,2	12,7
	В3 (в рядке)	4,2	22,9	43,4	38,2	13,7
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	3,7	19,1	35,0	33,8	12,5
	В2 (в междурядье)	3,7	19,1	30,1	29,8	11,9
	В3 (в рядке)	3,7	19,1	39,2	38,5	12,5

Результаты дисперсионного анализа данных по максимальной площади  
листового аппарата картофеля в опытах 2012 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	800,3	47			
Фактор А	227,00	3	75,7	9,89	2,86
Фактор В	160,33	2	80,2	10,48	3,25
Взаимодействие АВ	137,62	6	22,9	3,00	2,36
Ошибка	275,32	36	7,6		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, тыс. м <sup>2</sup> /га	Наименьшая существенная разность, тыс. м <sup>2</sup> /га
Фактор А (Способ посадки картофеля)	1,13	1,91
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,98	1,65
Взаимодействие АВ	1,96	3,30

Фактические значения площади листьев картофеля в опытных посадках 2013 г., тыс. м<sup>2</sup>/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубней
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	4,5	23,7	37,8	35,2	13,9
	В2 (в междурядье)	4,5	23,7	37,4	35,5	13,9
	В3 (в рядке)	4,5	23,7	37,4	35,5	13,9
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	4,8	24,5	38,9	37,2	14,4
	В2 (в междурядье)	4,8	24,5	38,8	37,0	14,2
	В3 (в рядке)	4,8	24,5	38,9	37,2	14,4
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	4,5	24,2	41,1	38,1	14,1
	В2 (в междурядье)	4,5	24,2	38,8	37,6	14,5
	В3 (в рядке)	4,5	24,2	44,7	39,7	14,7
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	4,1	20,7	38,7	33,2	13,7
	В2 (в междурядье)	4,1	20,7	35,5	32,1	13,5
	В3 (в рядке)	4,1	20,7	41,3	37,8	13,7

Результаты дисперсионного анализа данных по максимальной площади  
листового аппарата картофеля в опытах 2013 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	520,9	47			
Фактор А	105,48	3	35,2	4,57	2,86
Фактор В	69,63	2	34,8	4,53	3,25
Взаимодействие АВ	69,09	6	11,5	1,50	2,36
Ошибка	276,74	36	7,7		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): не доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, тыс. м <sup>2</sup> /га	Наименьшая существенная разность, тыс. м <sup>2</sup> /га
Фактор А (Способ посадки картофеля)	1,13	1,91
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,98	1,66
Взаимодействие АВ	1,96	3,31



Фактические значения площади листьев картофеля в опытных посадках 2014 г., тыс. м<sup>2</sup>/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубней
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	4,6	24,1	38,4	33,2	11,7
	В2 (в междурядье)	4,6	24,1	38,4	33,2	11,7
	В3 (в рядке)	4,6	24,1	38,6	33,4	11,7
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	4,9	25,1	41,2	33,9	12,8
	В2 (в междурядье)	4,9	25,1	41,2	34,1	12,8
	В3 (в рядке)	4,9	25,1	41,2	34,1	12,9
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	4,6	24,7	43,7	35,2	13,2
	В2 (в междурядье)	4,6	24,7	40,7	34,4	13,6
	В3 (в рядке)	4,6	24,7	45,7	38,4	13,4
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	4,1	21,4	38,1	33,1	13,0
	В2 (в междурядье)	4,1	21,4	36,9	32,2	13,7
	В3 (в рядке)	4,1	21,4	43,2	37,2	13,2

Результаты дисперсионного анализа данных по максимальной площади  
листового аппарата картофеля в опытах 2014 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	455,2	47			
Фактор А	168,06	3	56,0	13,73	2,86
Фактор В	67,73	2	33,9	8,30	3,25
Взаимодействие АВ	72,57	6	12,1	2,96	2,36
Ошибка	146,88	36	4,1		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, тыс. м <sup>2</sup> /га	Наименьшая существенная разность, тыс. м <sup>2</sup> /га.
Фактор А (Способ посадки картофеля)	0,82	1,39
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,71	1,21
Взаимодействие АВ	1,43	2,41

## Интегральные значения массы сухого биологического вещества картофеля в опытах 2012 г., т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,25	1,51	3,51	7,94	8,39
	В2 (в междурядье)	0,25	1,51	3,51	7,89	8,33
	В3 (в рядке)	0,25	1,51	3,52	7,96	8,40
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,27	1,75	3,98	8,23	8,63
	В2 (в междурядье)	0,27	1,75	3,96	8,20	8,59
	В3 (в рядке)	0,27	1,75	3,98	8,24	8,64
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,25	1,71	4,30	9,51	9,96
	В2 (в междурядье)	0,25	1,71	3,93	7,98	8,37
	В3 (в рядке)	0,25	1,71	4,66	10,67	11,18
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,23	1,51	3,44	7,84	8,27
	В2 (в междурядье)	0,23	1,51	3,06	6,34	6,65
	В3 (в рядке)	0,23	1,51	4,07	9,13	9,61

Результаты дисперсионного анализа данных по сухой биомассе  
картофеля в опытах 2012 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	62,0	47			
Фактор А	20,02	3	6,7	28,31	2,86
Фактор В	17,43	2	8,7	36,99	3,25
Взаимодействие АВ	16,04	6	2,7	11,34	2,36
Ошибка	8,485	36	0,2		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, т/га	Наименьшая существенная разность, т/га
Фактор А (Способ посадки картофеля)	0,20	0,33
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,17	0,29
Взаимодействие АВ	0,34	0,58

## Интегральные значения массы сухого биологического вещества картофеля в опытах 2013 г., т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,26	1,57	3,84	8,77	9,17
	В2 (в междурядье)	0,26	1,57	3,82	8,80	9,20
	В3 (в рядке)	0,26	1,57	3,82	8,80	9,20
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,27	1,70	4,06	8,92	9,33
	В2 (в междурядье)	0,27	1,70	4,06	8,88	9,29
	В3 (в рядке)	0,27	1,70	4,06	8,92	9,33
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,26	1,77	4,38	10,01	10,43
	В2 (в междурядье)	0,26	1,77	4,13	8,75	9,13
	В3 (в рядке)	0,26	1,77	4,83	11,43	11,88
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,24	1,59	3,92	8,64	8,98
	В2 (в междурядье)	0,24	1,59	3,53	7,44	7,78
	В3 (в рядке)	0,24	1,59	4,25	9,82	10,23

Результаты дисперсионного анализа данных по сухой биомассе  
картофеля в опытах 2013 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	52,2	47			
Фактор А	16,121	3	5,4	21,73	2,86
Фактор В	13,737	2	6,9	27,77	3,25
Взаимодействие АВ	13,416	6	2,2	9,04	2,36
Ошибка	8,904	36	0,2		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, т/га	Наименьшая существенная разность, т/га
Фактор А (Способ посадки картофеля)	0,20	0,34
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,18	0,30
Взаимодействие АВ	0,35	0,59

## Интегральные значения массы сухого биологического вещества картофеля в опытах 2014 г., т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,25	1,60	3,89	9,10	9,52
	В2 (в междурядье)	0,25	1,60	3,89	9,10	9,52
	В3 (в рядке)	0,25	1,60	3,90	9,16	9,59
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,26	1,70	4,14	9,58	9,99
	В2 (в междурядье)	0,26	1,70	4,15	9,61	10,01
	В3 (в рядке)	0,26	1,70	4,14	9,61	10,02
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,25	1,77	4,53	10,68	11,13
	В2 (в междурядье)	0,25	1,77	4,32	9,67	10,08
	В3 (в рядке)	0,25	1,77	4,86	11,80	12,28
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,23	1,56	3,85	8,68	9,11
	В2 (в междурядье)	0,23	1,56	3,61	7,83	8,22
	В3 (в рядке)	0,23	1,56	4,29	10,07	10,54

Результаты дисперсионного анализа данных по сухой биомассе  
картофеля в опытах 2014 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	56,1	47			
Фактор А	24,792	3	8,3	27,94	2,86
Фактор В	10,676	2	5,3	18,04	3,25
Взаимодействие АВ	9,985	6	1,7	5,63	2,36
Ошибка	10,650	36	0,3		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, т/га	Наименьшая существенная разность, т/га
Фактор А (Способ посадки картофеля)	0,22	0,38
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,19	0,32
Взаимодействие АВ	0,38	0,65



Масса сухого вещества, накопленного в вегетативной части картофельного растения (2012 г.), т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,25	1,16	1,77	1,69	1,45
	В2 (в междурядье)	0,25	1,16	1,78	1,66	1,41
	В3 (в рядке)	0,25	1,16	1,78	1,70	1,45
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,27	1,40	2,22	1,90	1,60
	В2 (в междурядье)	0,27	1,40	2,21	1,89	1,58
	В3 (в рядке)	0,27	1,40	2,23	1,93	1,63
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,25	1,29	2,22	2,04	1,66
	В2 (в междурядье)	0,25	1,29	2,12	1,48	1,15
	В3 (в рядке)	0,25	1,29	2,30	2,17	1,74
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,23	1,17	1,72	1,65	1,39
	В2 (в междурядье)	0,23	1,17	1,62	1,16	0,89
	В3 (в рядке)	0,23	1,17	2,03	1,79	1,46

Масса сухого вещества, накопленного в вегетативной части картофельного растения (2013 г.), т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,26	1,18	1,89	1,76	1,38
	В2 (в междурядье)	0,26	1,18	1,87	1,77	1,39
	В3 (в рядке)	0,26	1,18	1,87	1,77	1,39
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,27	1,30	2,07	1,77	1,39
	В2 (в междурядье)	0,27	1,30	2,08	1,75	1,37
	В3 (в рядке)	0,27	1,30	2,07	1,77	1,39
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,26	1,33	2,18	2,11	1,65
	В2 (в междурядье)	0,26	1,33	2,17	1,70	1,30
	В3 (в рядке)	0,26	1,33	2,29	2,29	1,73
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,24	1,22	2,09	2,05	1,66
	В2 (в междурядье)	0,24	1,22	1,91	1,61	1,30
	В3 (в рядке)	0,24	1,22	2,10	2,09	1,64

Масса сухого вещества, накопленного в вегетативной части картофельного растения (2014 г.), т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0,25	1,19	1,85	1,76	1,37
	В2 (в междурядье)	0,25	1,19	1,85	1,76	1,37
	В3 (в рядке)	0,25	1,19	1,86	1,81	1,42
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0,26	1,28	2,03	1,98	1,55
	В2 (в междурядье)	0,26	1,28	2,03	2,00	1,55
	В3 (в рядке)	0,26	1,28	2,03	2,01	1,58
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0,25	1,35	2,15	2,11	1,61
	В2 (в междурядье)	0,25	1,35	2,14	1,82	1,36
	В3 (в рядке)	0,25	1,35	2,19	2,19	1,60
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0,23	1,17	1,91	1,70	1,36
	В2 (в междурядье)	0,23	1,17	1,86	1,54	1,23
	В3 (в рядке)	0,23	1,17	2,02	1,92	1,48

## Масса сухого вещества, накопленного в клубнях картофеля (2012 г.), т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0	0,35	1,74	6,25	6,94
	В2 (в междурядье)	0	0,35	1,73	6,23	6,92
	В3 (в рядке)	0	0,35	1,74	6,26	6,95
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0	0,35	1,76	6,33	7,03
	В2 (в междурядье)	0	0,35	1,75	6,31	7,01
	В3 (в рядке)	0	0,35	1,75	6,31	7,01
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0	0,42	2,08	7,47	8,30
	В2 (в междурядье)	0	0,42	1,81	6,50	7,22
	В3 (в рядке)	0	0,42	2,36	8,50	9,44
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0	0,34	1,72	6,19	6,88
	В2 (в междурядье)	0	0,34	1,44	5,18	5,76
	В3 (в рядке)	0	0,34	2,04	7,34	8,15

## Масса сухого вещества, накопленного в клубнях картофеля (2013 г.), т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0	0,39	1,95	7,01	7,79
	В2 (в междурядье)	0	0,39	1,95	7,03	7,81
	В3 (в рядке)	0	0,39	1,95	7,03	7,81
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0	0,40	1,99	7,15	7,94
	В2 (в междурядье)	0	0,40	1,98	7,13	7,92
	В3 (в рядке)	0	0,40	1,99	7,15	7,94
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0	0,44	2,20	7,90	8,78
	В2 (в междурядье)	0	0,44	1,96	7,05	7,83
	В3 (в рядке)	0	0,44	2,54	9,14	10,15
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0	0,37	1,83	6,59	7,32
	В2 (в междурядье)	0	0,37	1,62	5,83	6,48
	В3 (в рядке)	0	0,37	2,15	7,73	8,59

## Масса сухого вещества, накопленного в клубнях картофеля (2014 г.), т/га

Способ посадки	Вариант контроля влажности почвы	Период роста и развития				
		Всходы	Начало бутонизации -	Цветение	Начало отмирания ботвы	Техническая спелость клубня
Контроль (посадка в гребень через 0,7 м)	В1 (смешанный тип)	0	0,41	2,04	7,34	8,15
	В2 (в междурядье)	0	0,41	2,04	7,34	8,15
	В3 (в рядке)	0	0,41	2,04	7,35	8,17
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,7 м	В1 (смешанный тип)	0	0,42	2,11	7,60	8,44
	В2 (в междурядье)	0	0,42	2,12	7,61	8,46
	В3 (в рядке)	0	0,42	2,11	7,60	8,44
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×0,9 м	В1 (смешанный тип)	0	0,42	2,38	8,57	9,52
	В2 (в междурядье)	0	0,42	2,18	7,85	8,72
	В3 (в рядке)	0	0,42	2,67	9,61	10,68
Посадка в сдвоенный рядок по формуле 0,5×1,1 м	В1 (смешанный тип)	0	0,39	1,94	6,98	7,75
	В2 (в междурядье)	0	0,39	1,75	6,29	6,99
	В3 (в рядке)	0	0,39	2,27	8,15	9,06

Результаты дисперсионного анализа урожайных данных  
картофеля в опытах 2012 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	1315,6	47			
Фактор А	463,88	3	154,6	21,42	2,86
Фактор В	300,26	2	150,1	20,80	3,25
Взаимодействие АВ	291,63	6	48,6	6,73	2,36
Ошибка	259,83	36	7,2		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, т/га	Наименьшая существенная разность, т/га
Фактор А (Способ посадки картофеля)	1,10	1,85
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,95	1,61
Взаимодействие АВ	1,90	3,21

Результаты дисперсионного анализа урожайных данных  
картофеля в опытах 2013 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	1225,8	47			
Фактор А	389,61	3	129,9	16,39	2,86
Фактор В	277,31	2	138,7	17,50	3,25
Взаимодействие АВ	273,60	6	45,6	5,76	2,36
Ошибка	285,25	36	7,9		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьюденту

Фактор	Ошибка разности средних, т/га	Наименьшая существенная разность, т/га
Фактор А (Способ посадки картофеля)	1,15	1,94
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	1,00	1,68
Взаимодействие АВ	1,99	3,36



Результаты дисперсионного анализа урожайных данных  
картофеля в опытах 2014 г.

Таблица А – Оценка значимости факторов по Фишеру

Выделенная дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Количественная оценка дисперсии	Fфакт.	Fтеор.
Общая	1246,8	47			
Фактор А	574,96	3	191,7	32,24	2,86
Фактор В	228,89	2	114,4	19,25	3,25
Взаимодействие АВ	228,98	6	38,2	6,42	2,36
Ошибка	214,01	36	5,9		

Значимость фактора А (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость фактора В (на 5%-ном уровне значимости) : доказана

Значимость взаимодействия факторов А и В (на 5%-ном уровне значимости): доказана

Таблица Б – Оценка значимости разности средних по Стьуденту

Фактор	Ошибка разности средних, т/га	Наименьшая существенная разность, т/га
Фактор А (Способ посадки картофеля)	1,00	1,68
Фактор В (Способ контроля предполивной влажности почвы)	0,86	1,46
Взаимодействие АВ	1,72	2,91