

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»

На правах рукописи

Ольгаренко Владимир Игоревич

**УПРАВЛЕНИЕ ОРОШЕНИЕМ КАРТОФЕЛЯ ЛЕТНЕГО СРОКА  
ПОСАДКИ НА ПОЙМЕННЫХ ЗЕМЛЯХ НИЖНЕГО ДОНА**

специальность: 06.01.02 – «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»

Диссертация  
на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат сельскохозяйственных наук  
Бабичев А.Н.

Новочеркасск 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ ЛЕТНЕГО СРОКА ПОСАДКИ НА ПОЙМЕННЫХ ЗЕМЛЯХ НИЖНЕГО ДОНА.....	9
1.1 Эффективность возделывания картофеля при орошении.....	9
1.2 Анализ и основные направления совершенствования методов определения эвапотранспирации сельскохозяйственных культур.....	17
Выводы.....	23
2 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СХЕМА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	25
2.1 Почвенная характеристика района исследований.....	25
2.2 Климатические условия.....	27
2.3 Программа и методика проведения исследований.....	29
3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ КАРТОФЕЛЯ.....	35
3.1 Теоретическое обоснование процесса расчёта эвапотранспирации и режимов орошения сельскохозяйственных культур.....	35
3.2 Информационная база данных возделывания картофеля.....	41
3.2.1 При планируемых уровнях минерального питания.....	41
3.2.2 При заданных дефицитах на водные ресурсы.....	48
3.3 Режим орошения картофеля при заданных уровнях водообеспеченности.....	53
3.4 Динамика водного баланса орошаемого поля картофеля при различных уровнях влагообеспеченности.....	58
Выводы.....	63
4 МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ КАРТОФЕЛЯ ЛЕТНЕГО СРОКА ПОСАДКИ.....	69
4.1 Закономерности влияния гидрометеорологических параметров на динамику изменчивости биоклиматических коэффициентов картофеля.....	69
4.2 Эмпирические зависимости эвапотранспирации и урожайности картофеля от гидрометеорологических факторов и влажности почвы для лет различной обеспеченности.....	79
4.3 Совершенствования метода расчёта водопотребления и аппарата управления орошением картофеля на основе динамики изменения гидрометеопараметров.....	91
Выводы.....	103
5 ЭНЕРГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ....	105
5.1 Энергетическая и экономическая эффективность возделывания картофеля.....	105
Выводы.....	108
Заключение.....	109

Предложения производству.....	111
Перспективы дальнейшей разработки темы.....	112
Список использованной литературы.....	113
Приложение А – Экспериментальные данные по формированию информационной базы данных.....	135
Приложение Б – Элементы режима орошения картофеля.....	153
Приложение В – Статистическая обработка экспериментальных данных.....	155
Приложение Г – Дополнительные параметры информационной базы данных.....	177
Приложение Д – Акты внедрения.....	180

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** Площадь пойменных земель Нижнего Дона составляет 280 тыс. га, под сельскохозяйственные нужды отведено 60 тыс. га, из которых 10 тыс. га на орошении. Важное значение в дальнейшем развитии агропромышленного комплекса Ростовской области является повышение эффективности использования пойменных земель и прежде всего на орошении. В этих условиях производство картофеля летнего срока посадки является одним из приоритетных направлений развития сельского хозяйства. Возделывание картофеля в условиях дефицита водных ресурсов должно базироваться на обосновании и реализации процессов управления орошением, которые обеспечивают повышение точности и надёжности параметров модели эвапотранспирации на основе создания информационной базы данных; увеличивают урожайность при экономном использовании водных и других ресурсов, улучшают экологическое состояние мелиорируемого фонда. Научно-исследовательская работа осуществлялась согласно тематическому плану ФГБНУ «РосНИИПМ» (№ гос. рег. 115022410032) по теме: «Провести исследования и разработать рекомендации по повышению эффективности использования земельных ресурсов на основе ресурсосберегающих технологий орошения и повышения биопотенциала сельскохозяйственных культур».

**Степень разработанности темы.** Проведённый научно-аналитический анализ показал, что по вопросам определения водопотребления, режимов орошения и питания картофеля в настоящее время имеется обширная информация. Однако требуется обоснование, разработка и реализация новых расчётных моделей на основе повышения точности управления процессами водопотребления с учётом использования информационных технологий, динамики изменения гидрометеорологических факторов и влажности почвы в расчётном слое, обеспечивающих рациональное использование водных и энергетических ресурсов, высокую продуктивность возделывания картофеля, сохранение и повышение плодородия почвы, создания благоприятной экологической обстановки в орошаемом агроландшафте.

**Цель исследований** - повышение эффективности использования водных и энергетических ресурсов на основе разработки информационной базы данных, модели управления орошением картофеля летнего срока посадки для условий пойменных земель Нижнего Дона.

**Задачи исследований:**

- провести анализ существующих методов управления орошением картофеля и научно обосновать основные направления их совершенствования на пойменных землях Нижнего Дона;

- разработать информационную базу данных по управлению водопотреблением и режимом орошения картофеля как при нормативной влагообеспеченности, так и заданных уровней дефицитов на водные и питательные режимы;

- установить динамику водного баланса, эвапотранспирацию, потенциальную эвапотранспирацию и урожайность картофеля при различных режимах орошения и изменчивости гидрометеорологических факторов;

- усовершенствовать модель определения эвапотранспирации и управления орошением картофеля с учётом повышения качества информационной базы данных, влияния фактической изменчивости гидрометеорологических условий, влажности почвы и уровня урожайности;

- разработать алгоритм, функциональную структуру и компьютерную программу для управления орошением картофеля летнего срока посадки;

- выполнить оценку экономической и энергетической эффективности возделывания картофеля при орошении с учётом структуры ресурсозатрат.

**Научная новизна заключается в том, что:**

- разработана информационная база данных по управлению водопотреблением и режимом орошения картофеля как при нормативной влагообеспеченности, так и заданных уровней дефицитов на водные и питательные режимы;

- установлены структура водного баланса орошаемого поля картофеля, эмпирические зависимости эвапотранспирации, потенциальной эвапотранспирации и урожайности в зависимости от режима орошения и динамики гидрометеопараметров для лет различной водообеспеченности;

- разработаны алгоритм, функциональная структура и компьютерная программа управления орошением картофеля летнего срока посадки, обеспечивающие значительное повышение точности определения параметров исследуемых моделей, эффективность использования оросительной воды и энергетических ресурсов;

- усовершенствована модель определения эвапотранспирации и управления орошением картофеля на основе полученных нелинейных эмпирических зависимостей; разработан экономически обоснованный режим орошения картофеля, обеспечивающий экономию водных и энергетических ресурсов до 20 %.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработана информационная база данных для управления орошением картофеля как при нормативной влагообеспеченности, так и планируемых уровней дефицитов на водные и питательные режимы. Получены эмпирические зависимости влияния метеорологических условий на элементы водного баланса орошаемого поля, эвапотранспирацию, водный и питательный режимы почвы, потенциальную эвапотранспирацию и урожайность культур, изменение биоклиматических коэффициентов от фактических почвенных влагозапасов картофеля для года расчётной обеспеченности. Разработаны: модель расчёта эвапотранспирации орошаемого поля картофеля с учётом динамики изменения почвенных влагозапасов, что повышает точность определения изучаемых параметров до 25 %; алгоритм и программа управления орошением с использованием разработанной модели определения эвапотранспирации; предложен экономически обоснованный режим орошения картофеля, позволяющий экономить водные и энергетические ресурсы до 20 %. Практическое значение результатов исследований обусловлено повышением точности определения необходимых параметров, экономией водных и энергетических ресурсов, повышением продуктивности картофеля более чем на 30 %, улучшением экологической обстановки на орошаемых землях.

**Методология и методы исследования.** Методологической основой послужили системный подход в изучении существующих методов управления орошением сельскохозяйственных культур, методы системного анализа и эмпирическо-

го обобщения. Теоретической базой исследований являются работы отечественных научных центров: ФГБНУ «ВНИИГиМ», ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ», ФГБНУ «РосНИИПМ», ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», НИМИ – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» и соответствующих научно-исследовательских институтов РАН и других ведомств; ряда отечественных и зарубежных авторов в данном направлении исследований. Эмпирическую базу исследований составили результаты полевых исследований на пойменных землях Нижнего Дона, анализ и обобщение полученных результатов.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- информационная база данных по управлению водопотреблением и режимом орошением картофеля, включающая комплекс полученных закономерностей для совершенствования моделей расчёта водопотребления при нормативной водообеспеченности и планируемых дефицитах на водные и питательные ресурсы;
- полученные закономерности динамики водного баланса, эвапотранспирации, потенциальной эвапотранспирации и урожайности картофеля при различном уровне режимов орошения и изменчивости гидрометеорологических факторов;
- алгоритм, функциональная структура и компьютерная программа для управления орошением картофеля летнего срока посадки;
- модель определения эвапотранспирации и управления орошением картофеля с учётом повышения качества информационной базы данных, влияния фактической изменчивости гидрометеорологических условий, влажности почвы и уровня урожайности, на основании чего обеспечена экономия водных и энергетических ресурсов до 20 %.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность полученных результатов подтверждается большим объёмом полученного экспериментального материала, достаточно хорошим совпадением теоретических и практических разработок, применением современных стандартных методов и методик при организации и проведении полевых опытов, апробацией результатов исследований в производственных условиях. Основные результаты диссертационной работы обсуждены и одобрены на международных и межвузовских научно-

практических конференциях как в нашей страны, так и ближнем зарубежье, проводимых в ФГБНУ «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск), ГНУ «ПНИИАЗ» (г. Москва), ВГУП «ВНИИА» (г. Москва), ГУ «ИОЗ НААН» (г. Херсон, Украина), ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ» (г. Волгоград), ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ им. императора Петра I» (г. Воронеж), РУП «Институт Овощеводства» (п. Самохваловичи, Беларусь), ФГБОУ ВО «КубГАУ» (г. Краснодар), а также на международной научно-практической конференции Минобрнауки Российской Федерации за 2013–2015 гг.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 15 печатных работах, в том числе 3 работы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Общий объём публикаций составляет 7,3 п.л., из них 6.1 п.л. принадлежит лично автору.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа изложена на 143 страницах, включает 30 таблиц, 25 рисунков и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Список литературы включает 238 источников, в том числе 19 на иностранном языке.

# 1 ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ ЛЕТНЕГО СРОКА ПОСАДКИ НА ПОЙМЕННЫХ ЗЕМЛЯХ НИЖНЕГО ДОНА

## 1.1 Эффективность возделывания картофеля при орошении

Картофель, Паслён клубненосный (лат. *Solanum tuberosum*) – вид многолетних клубненосных травянистых растений из рода Паслён (*Solanum*) семейства Паслёновые (*Solanaceae*). По исследованиям Б. А. Писарева [1] корневая система картофеля мочковатая и располагается сравнительно неглубоко, на 0,6–0,8 м от поверхности почвы и лишь отдельные корни уходят глубже до 1,4 м. Листья картофеля – прерывисто-непарноперисторассеченные.

По данным В. И. Астапова, В. В. Бурлака, Г. А. Гарюгина, А. С. Кружилина и А. В. Рожалина [2–6] установлено, что в начале вегетации потребность растения в воде полностью удовлетворяется семенным клубнем. После всходов и в первый период формирования ботвы испаряющая поверхность невелика, вследствие чего растения расходуют мало влаги. В начале роста и развития картофель хорошо переносит засуху. Однако, влажность почвы на этой стадии является важным фактором развития растений. Избыток влаги вызывает недостаток кислорода в почве и загнивание семенных клубней, а недостаток – существенно замедляет всходы. Кроме этого большое количество влаги делает развивающуюся корневую систему поверхностной, что ограничивает потребление воды культурой в течение периода роста и снижает урожайность.

Как отмечает В. А. Кулыгин [7], критической фазой по отношению растений к влаге является бутонизация – начало цветения картофеля, когда происходит закладка будущего урожая. Даже кратковременные засухи в этой фазе уменьшают урожайность картофеля на 17–23 %. Влажность почвы в этот период необходимо поддерживать на оптимальном уровне. Во втором периоде растения нуждаются в большом количестве влаги для получения высокого урожая. В третьем периоде потребность в воде небольшая, однако, почва должна сохраняться во влажном состоянии чтобы избежать растрескивания и формирования комков.

Исследованиями С. Н. Карманова, Б. А. Писарева, В. И. Вариводы, М. Н. Багрова, А. А. Руковишникова, Л. П. Бобковой, К. К. Битюкова, Н. С. Бойко и других [8–18] установлено влияние водно-физических свойств на урожайность картофеля и плотность почвы, которая не должна превышать более  $1,1\text{--}1,15\text{ г/см}^3$ . Сумма накопленных активных температур воздуха для среднеранних сортов составляет: плюс  $1000\text{--}1400\text{ }^\circ\text{C}$ , поздних: плюс  $1400\text{--}1600\text{ }^\circ\text{C}$ . Исследованиями А. И. Андреюк [19] установлена зависимость продолжительности довсходового периода от скороспелости сортов. Анализ исследований сербских учёных Дж. Боснжака и К. Маклика подтвердил установленные зависимости вегетации картофеля от температурного режима и количества влаги в почве [20]. По данным Д. Т. Абдукаримова и Я. И. Симольского [21, 22] в условиях поддержания оптимальной влажности почвы при температуре плюс  $10\text{--}12\text{ }^\circ\text{C}$ , картофель даёт всходы на 25–27 день; при плюс  $14\text{--}16\text{ }^\circ\text{C}$  на 16–17 день. Клубни гибнут при температуре минус  $1\text{--}2\text{ }^\circ\text{C}$ ; ботва – при минус  $1\text{ }^\circ\text{C}$ . Оптимальной температурой почвы для клубнеобразования является плюс  $17\text{--}20\text{ }^\circ\text{C}$ . При этом различные сорта в разной степени относятся к температуре: у среднеранних сортов клубнеобразование лучше происходит при температуре почвы плюс  $16\text{--}17\text{ }^\circ\text{C}$ ; среднепоздних – при плюс  $19\text{--}20\text{ }^\circ\text{C}$ .

Исследованиями Н. Н. Балашева, А. Г. Лорха, С. Д. Лысогорова и других [23–26] установлена оптимальная величина температуры почвы, которая составляет плюс  $16\text{--}17\text{ }^\circ\text{C}$ . В условиях Тамбовской области, как отмечает Ю. Г. Кашина [27], погодные условия при выращивании картофеля в условиях отсутствия орошения также оказывали значительное влияние на урожайность.

Исследованиями М. И. Гончарика, А. Ф. Ильина, А. С. Кружилина, Н. В. Тыктина, Б. Б. Шумакова и других [28–33] установлено, что высокую влажность почвы необходимо поддерживать особенно в фазы бутонизации и цветения картофеля.

При реализации технологического процесса возделывания картофеля необходимо должное внимание уделять мероприятиям по борьбе с вредителями и болезнями картофеля. В этом направлении следует использовать результаты иссле-

дований учёных Н. Н. Балашева, М. Ислама, М. В. Котикова, С. В. Сороки, С. Ю. Спиглазовой, С. П. Травина, М. С. Филимонова и других [34–40]. Подготовка высококачественного материала также является важной составляющей при реализации научно-обоснованной технологии возделывания картофеля. В исследованиях С. В. Дубинина, М. Н. Кинчаровой, М. М. Максимовича, Е. Я. Молчанова, И. Н. Николаева, Ф. Ф. Пуздря, В. П. Самодурова, Е. А. Симакова, И. П. Тектонида и других [41–53] обоснована роль и значение семеноводства картофеля для соответствующих почвенных и климатических районов орошения, обеспечивающее орошаемые земли высокоурожайными районированными сортами. Кроме этого, биологические показатели вышеуказанных сортов значительно расширяют информационную базу данных для проведения процессов планирования и управления орошением и эвапотранспирацией картофеля в целом, и в том числе на пойменных землях Нижнего Дона.

Общеизвестно, что в Российской Федерации утверждена предельно допустимая концентрация (ПДК) нитратов в картофеле – 250 мг/кг сырых клубней. По другим данным, максимальная неопасная суточная доза нитратов для человека при систематическом поступлении их в организм составляет 4 мг нитратов на 1 кг массы тела в день. Как утверждает В. В. Церлинг [54], необходимо стремиться к тому, чтобы в любой продукции количество нитратов было минимальным. По данным европейской комиссии по продуктам питания [55], допустимое содержание нитратов в картофеле не должно превышать 3,7 мг на 1 кг массы тела человека, а для детей и людей, входящих в группы риска по здоровью, нитраты в картофеле должны полностью отсутствовать. Исследованиями Г. Н. Ночайкина, В. И. Панасина, О. В. Щегорец и других [56–58] также определено важное значение производства экологически чистой продукции для здоровья населения.

Исследованиями Р. В. Пенкина [59] установлено положительное влияние обработки клубней регуляторами роста и силиплантом на урожайность картофеля в производственных опытах для условий Брянской области. Отмечено также, что урожайность обеспечивается как обработкой клубней эпиномэкстра, цирконом или силиплантом, так и использованием 50%-ной нормы расхода фунгицидов в

смеси с регуляторами роста (обработка клубней и семь обработок в период вегетации) и силиплантом (обработка клубней и шесть обработок растений). От реализации такой схемы защиты картофеля от фитофтороза и альтернариоза получена дополнительная урожайность на сортах: Розалинд – 13,3 т/га и 14,3 т/га (60,2 и 64,58 %), Карлинг-форд – 20 т/га (37,77 %).

Исследованиями Ю. С. Авдеева, Н. С. Авдониной, Г. А. Соловьёва, В. А. Паниткина, П. В. Полякова и других авторов [60–64] также подтверждена эффективность внесения комплексных удобрений при возделывании картофеля в условиях орошения.

Е. И. Лошаков, Т. Б. Царьградская, О. Д. Шафронов, В. П. Часовских, И. П. Кружилин [65, 66] отмечают, что наиболее сильное воздействие на рост стеблей и листьев растения оказывает азот. Он ускоряет развитие вегетативных органов картофеля и таким образом увеличивает производственный потенциал данной культуры. Однако необходимо учитывать, что азот имеет тенденцию задерживать закладку клубней и их последующий рост. Поэтому, при выращивании раннеспелых сортов необходимо вносить относительно небольшое количество азота. В то же время поздние сорта с длинным вегетационным периодом требуют большего количества листовой и, следовательно, более интенсивного применения азотных удобрений. Наиболее эффективными азотными удобрениями, применяющимися в засушливых зонах, являются сульфат аммония и нитрат аммония. Эта форма азота труднее выщелачивается поливными водами, чем другие формы.

Фосфор и калий увеличивают в клубнях картофеля содержание крахмала, ускоряют их созревание. Кроме того, фосфор увеличивает количество клубней на растении; а калий, улучшая некоторые качественные характеристики картофеля, повышает также качество его хранения.

Как отмечает М. М. Гасанова [67], на орошаемых почвах Западной зоны Азербайджана наиболее высокие урожаи (25,9 т/га) были получены с внесением минеральных  $N_{90}P_{90}K_{90}$  и органических удобрений (15 т/га навоза), однако, при повышении доз внесения минеральных удобрений до  $N_{120}P_{120}K_{120}$  урожайность картофеля снизилась на 25,2 %.

В свою очередь, А. В. Кравченко и Л. С. Федотова [68] рекомендуют проводить предпосадочную обработку клубней картофеля бактериальными удобрениями. Данный приём повышает биологическую активность почвы, продуктивность фотосинтеза, урожайность картофеля, улучшает качество продукции, сдерживает развитие болезней. Таким образом, бактериальные удобрения выполняли анти-стрессовую функцию для растений, что обусловило получение высокой урожайности картофеля на полях Нечернозёмной зоны России.

По данным исследований Г. В. Гуляевой, Е. Д. Гарьянова, Н. А. Петрова, Н. А. Токарев, П. В. Герасимов [69], в условиях Нижнего Поволжья, на капельном орошении с внесением двух подкормок  $N_{60}P_{120}K_{60}$  и  $N_{30} + N_{30}K_{60}$  был получен рекордный урожай 48 т/га. В свою очередь В. В. Ивенин [70] так же рекомендует вносить минеральные удобрения в сочетании с микроэлементами. Положительный эффект на урожайность картофеля могут оказывать так же регуляторы роста. По опытным данным Н. А. Щербаковой [71] на светло-каштановых почвах с маломощным гумусовым горизонтом на девяти ранних и среднеранних сортах картофеля изучено и установлено положительные влияние регуляторов роста.

По данным В. И. Долженко, А. В. Коршунова, А. С. Голубев, О. В. Долженко, А. В. Герасимовой, Г. И. Филиппова, [72–74], на дерново-подзолистой суглинистой почве локальное внесение минеральных удобрений дозой  $N_{90}P_{120}K_{120}$  до посадки картофеля оказалось наиболее эффективным.

В опытах А. В. Коршунова, Р. Л. Рахимова, Г. В. Стома [75, 76] максимальная урожайность картофеля зафиксирована при внесении минеральных удобрений дозой  $N_{150}P_{150-180}K_{180-225}$ .

Данными А. В. Бутова, С. Н. Карманова, Н. И. Шестакова, В. П. Кирюхина, А. В. Коршунова, О. Ю. Боевой. [77–80] отмечено, что при использовании различного уровня минерального питания картофеля, в условиях Центрально-Черноземного региона, в среднем за два года урожай составил: при внесении  $N_{30}P_{30}K_{30}$  – 19,7 т/га;  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 24,7 т/га;  $N_{90}P_{90}K_{90}$  – 29,1 т/га; в контроле (без удобрений) – 14,4 т/га.

Лучшие условия для внесения органических удобрений, по мнению Г. А. Елькиной [81] и Л. С. Федотовой [82], является зябь или предшественник культуры. Снижается засоренность посадок, улучшаются качество и сохранность продукции. Альтернативное органическое удобрение – солома в сочетании с бобовыми сидератами.

По данным С. П. Ломова [83], для обогащения почвы минеральными и органическими веществами следует применять сидераты. Вегетационный период картофеля позволяет использовать сидеральные культуры как до посадки, так и после уборки, которые обогащают почву различными микро и макроэлементами: азотом, калием, фосфором и другими, кроме этого активизируется деятельность почвенных микроорганизмов. В. А. Алексеев [84] и В. Н. Свист [85], отмечают, что в некоторых случаях сидеральные культуры по своей эффективности могут заменить внесения навоза в системе удобрения картофеля.

По мнению В. А. Монастырского [86–88] – самым эффективным сидератом для картофеля летнего срока посадки является горчица сарептская.

По данным И. П. Кружилина, В. Н. Щедрина, Г. Т. Балакай и В. А. Кулыгина [89, 90] для условий Ростовской области на основе исследований 80-х годов прошлого столетия рекомендованы следующие примерные дозы внесения минеральных удобрений в кг/га д.в.: для черноземов –  $N_{40-60}P_{70}K_{60}$ ; темно-каштановых почв –  $N_{90}P_{120}K_{90}$ ; аллювиально-луговых –  $N_{45}P_{70}K_{90}$  на фоне внесения 40–60 т навоза или 10–15 т перегноя, которые были рассчитаны под проектный урожай 16,0–18,0 т/га. Однако, исследования, проведенные в последнее десятилетие, в частности РосНИИПМ, показали, что увеличение доз вносимых удобрений позволяет резко повысить урожайность картофеля. Для получения урожайности клубней в пределах (30,0–40,0) т/га рекомендуются следующие дозы внесения минеральных удобрений в кг/га: для черноземов –  $N_{140-160}P_{180-220}K_{160-180}$ ; темно-каштановых почв –  $N_{180-220}P_{220-240}K_{200-240}$ ; аллювиально-луговых –  $N_{180-200}P_{200-220}K_{220-240}$ . В каждом конкретном случае эти показатели будут варьироваться.

Исследованиями В. Л. Жеребцова и С. Ф. Тихвинского [91] установлено, что требования растений к воде могут сильно меняться в зависимости от сорта и

приемов агротехники. Для скороспелых сортов овощных растений, отличающихся быстрым ростом и интенсивным накоплением урожая, влага нужна в больших количествах, чем для поздних.

Как отмечает О. В. Савина [92], недостаток влаги в период цветения и плодообразования приводит к опадению цветков и завязей, задержке роста и снижению урожайности. Повышенное содержание влаги в почве в период созревания овощей ухудшает их лежкость. В дальнейшем растения развиваются в условиях нарастающих температур и почти полного отсутствия осадков.

Анализ опытных данных А. В. Ивойлова [93] позволил установить, что погодные условия, при которых протекает развитие овощей и картофеля, посаженных в летние сроки, характеризуются высокими температурами и отсутствием осадков в первый период вегетации, спадом температур во время созревания и резким снижением их в период уборки урожая. Поэтому, посев и посадку поздних овощей и картофеля проводят с обязательным предпосадочным или послепосадочным поливом, а после посева дают один-два подпитывающих полива.

Анализ научно-технической литературы российских и зарубежных авторов показал что вопросами изучения различных факторов на урожайность картофеля занимался широкий круг учёных. Преимущества способа полива картофеля дождеванием по сравнению с поверхностными поливами изложены в работах В. И. Арнаутова, Н. И. Балакай, И. В. Новиковой, И. Д. Паненко и других [94–97]. Кроме этого, большое внимание в научных исследованиях было уделено методологиям изучения составляющих уравнения водного баланса орошаемого ландшафта, потенциальной эвапотранспирации, эвапотранспирации, режимов орошения картофеля, уровней передвижения границ влажностей в корнеобитаемом слое почвы для различных почвенных, климатических, гидрогеологических и других условий орошаемых зон Российской Федерации.

Исследованиями Б. В. Анисимова, Е. Н. Бессмольной, О. В. Бочарниковой, В. С. Бочарникова, С. А. Вериги, Д. В. Васильченко, О. Г. Гиченковой, Т. Н. Дроновой, И. Н. Ильинской, А. Я. Камераз, А. В. Кравчука, И. П. Кружилина, С. Н. Карманова, М. А. Козина, Б. П. Литун, Е. И. Лошакова, П. В. Мачко,

Г. К. Машьяновой, М. П. Мещерякова, С. Д. Орлова, А. С. Овчинникова, И. Д. Паненко, А. А. Пахомова, Н. С. Петина, В. О. Пешковой, Н. И. Тихонова, В. А. Шадских и других [98–124] при изучении режимов орошения в различных почвенно-климатических районах возделывания сельскохозяйственных культур установлены колебания минимальных уровней влагозапасов в расчётном слое почвы, значения которых составили от 62,0 % до 85,0 % наименьшей влагоемкости.

Изучение режима орошения картофеля было взаимосвязано с вопросами определения эвапотранспирации по фазам развития растений. В этом направлении проведены исследования В. С. Астаповым, Н. Н. Балашевым, Н. С. Бацановым, К. К. Битюковым, О. А. Виссер и другими [125–130], позволившие установить численные значения величин эвапотранспирации в годы различной водообеспеченности.

Исследования Г. А. Сенчукова, А. С. Михайлина, Е. А. Симакова, Б. В. Анисимова, Г. В. Ольгаренко, Т. А. Капустиной и другие [131–133] были посвящены изучению элементов уравнения водного баланса орошаемого поля, дифференцированного как по диапазону изменения критических запасов влаги по горизонтам почвенного разреза с учётом фаз раз развития сельскохозяйственных культур, так и эвапотранспирации при наличии дефицитов водных ресурсов.

В производственных опытах проведённых С. Б. Прямым [134] в 2012 году на базе ЗАО «Озёры» на дерново-подзолистых супесчаных почвах Московской области была получена урожайность 33 т/га с площади 900 га. Особенностью данных исследований являлось применение орошения в условиях интенсивных осадков (450–500 мм), которые выпадали крайне неравномерно в течение вегетационного периода. К аналогичным выводам пришли и ряд других исследователей: Т. В. Бондарева, П. А. Власюк, И. Н. Гоголев, Н. П. Гончаров, А. П. Джулай, В. П. Ершов, А. И. Замотаев, А. Ф. Ильин, В. А. Казанцев [135–143].

В 2012 году, в Тульской области, исследованиями Л. Э. Гунар, А. А. Черенкова и М. С. Хлопук при различной влагообеспеченности 60–80 НВ была получена урожайность семенного картофеля «Весна» от 17 до 33 т/га. Подобная разница

в урожайности была так же у сортов «Розара», «Жуковский ранний», «Ред Скарлетт», «Удача», «Колобок», «Невский», «Рябинушка», «Ароза» и другие [144].

По данным Н. Ф. Лобова [145] снижение критических влагозапасов до 70 % от наименьшей влагоёмкости урожайность картофеля уменьшилась на 21,0 % и составила в натуральных значениях 21,0 т/га.

Для условий Алтайского края Писарев Б. А. [146, 147] рекомендует поддерживать предполивной порог влажности почвы по фазам: всходы – бутонизация: 70–75 % НВ; цветение: 80–90 % НВ; и до отмирания ботвы: 75–80 % НВ.

Индийские учёные М. Недунчечжиянь, Г. Измирлиогу, Г. Буйю, А. Демирси и Р. С. Рей установили [148, 149], что при соблюдении всех агротехнических приёмов возделывания и применение экономически обоснованных режимов орошения урожайность картофеля может достигать 50–55 т/га.

Опытными данными М. Щири-е-Джанаград, А. Тобех и других [150] доказано, что избыток влаги в почве нежелателен, он нарушает аэрацию и вызывает снижение урожайности картофеля.

## **1.2 Анализ и основные направления совершенствования методов определения эвапотранспирации сельскохозяйственных культур**

Величина эвапотранспирации сельскохозяйственных культур зависит от большого сочетания факторов и является функцией биологических свойств растений, влажности расчётного слоя почвы, гидрометеопараметров орошаемых участков, организационно-хозяйственных условий и уровня реализации агротехнических мероприятий.

В настоящее время методы определения эвапотранспирации классифицируются по следующим направлениям:

- методы, описывающие взаимосвязь эвапотранспирации сельскохозяйственных культур с их урожайностью [151];
- методы, основанные на определении биологических коэффициентов растений с использованием взаимосвязи эвапотранспирации с гидрометеопараметра-

ми орошаемых участков [152–164];

- комплексные методы расчёта эвапотранспирации, основанные на совместном рассмотрении элементов энергетического баланса орошаемого поля и циркуляции водяного пара в атмосфере [165–171];

Исследованиями С. В. Выховенко [153] установлено, что большая изменчивость биоклиматических коэффициентов сельскохозяйственных культур обусловлена применением для их определения модели, использующей прямо пропорциональную зависимость эвапотранспирации только от дефицита влажности воздуха.

Н. Г. Голченко и В. М. Вихров [154], при проведении исследований по совершенствованию биоклиматического метода расчёта суточного водопотребления на примере многолетних трав, использовали нелинейную модель взаимосвязи эвапотранспирации с урожайностью. Этот подход обеспечил повышение точности определения величины эвапотранспирации растений и отклонения от фактических данных не превышали  $\pm 17,4$  %.

Исследования коллектива российских учёных под руководством В. П. Остапчика совместно с немецкими коллегами теоретически обосновали, разработали и широко внедрили информационно-советующую систему управления орошением сельскохозяйственных культур [155, 156]. Усовершенствование методологии определения биоклиматических коэффициентов на основе учёта пространственной изменчивости влагозапасов в расчётном слое почвы, динамику фактических метеопараметров орошаемых территорий, учёта всплесков испарения после проведения поливов и размеров орошаемых полей. Были получены новые нелинейные эмпирические зависимости суммарного испарения растений от урожайности.

Исследованиями А. Р. Константинова и Э. А. Струнникова [157, 158] установлено, что изменения биологических коэффициентов сельскохозяйственных культур подчиняются степенной зависимости.

А. Ю. Черемисинов [159] для черноземов ЦЧЗ разработал модель для определения эксплуатационных режимов орошения сельскохозяйственных культур.

М. И. Будыко [160] считает, что наиболее точным методом определения

суммарного водопотребления является метод теплового баланса.

Определение расчётной величины суммарного испарения с орошаемых угодий С. И. Харченко [161, 162] отдаёт предпочтение теплбалансовому методу. Однако, наиболее точным считает метод весовых испарителей [163].

Сравнивая несколько методов определения суммарного испарения: теплового и водного балансов, турбулентных диффузий, почвенных испарителей; Л. Р. Струзер и Н. П. Русин [164] выделяют наиболее значимыми методы почвенных испарителей и теплового баланса.

В расчётной практике используются методы А. М. Алпатьева и С. М. Алпатьева, Г. К. Льгова, В. П. Остапчика, Д. Б. Циприса, Э. Г. Евтушенко [165–168]

Анализ показывает, что комплексные методы определения суммарного испарения имеют локальный характер и могут приводить к существенным ошибкам ввиду резкой изменчивости эмпирических коэффициентов входящих в уравнения водного и теплового балансов, обусловленных динамикой фактической влагообеспеченности растений в различные фазы их развития.

Фактическую оценку влагообеспеченности посевов и посадок сельскохозяйственных культур можно установить на основании использования взаимосвязи эвапотранспирации с потенциальной эвапотранспирацией. К недостаткам данного метода относится условие, при котором нарушаются физиологические закономерности процесса эвапотранспирации растений, которые принимаются постоянными влагозапасами почвы в расчётном слое почвы по всем фазам их развития. По данным Г. В. Ольгаренко [169], избыток или недостаток влаги по-разному сказывается на величине потенциальной эвапотранспирации рассматриваемого массива. При малых запасах влаги в почве водопотребление снижается; при средних – удовлетворительными, при высоких – завышенными.

Исследованиями Л. И. Зубенок, А. И. Будаговского, И. А. Кузника, А. Н. Чунаковой, А. С. Васильева [170–172] также установлено, что использование в расчётах пропорциональных зависимостей эвапотранспирации и влагозапасов в почве в течение всего вегетационного периода приводят к существенным ошибкам в определении фактических значений.

Кроме этого, А. Р. Константинов [173] считает, что наиболее обоснованными методами определения эвапотранспирации растений является использование биологических коэффициентов, которые должны определяться для каждого конкретного орошаемого участка в зависимости от гидрометеопараметров и влагозапасов в почве по фазам развития сельскохозяйственных культур и значению потенциальной эвапотранспирации. Получение вышеуказанных зависимостей требует постановки и проведения большого комплекса экспериментальных исследований, а полученные значения являются локальными с динамикой их значений в пространстве и времени. Анализ показывает, что с теоретической точки зрения данная методология является вполне обоснованной, но её практическая реализация остаётся весьма затруднительной. Поэтому обоснование и разработка нового методологического подхода в вышеуказанном направлении, обеспечивающего решение данной проблемы с наименьшими затратами и достаточной точностью расчётов, имеет важное значение для развития мелиоративной науки и практики.

П. П. Коченков [174] своими исследованиями также подчеркнул значительную динамику биоклиматических коэффициентов сельскохозяйственных культур, которая обосновывается изменением климатических условий, погрешностью в проведении полевых опытов. Он установил, что средние значения статистической вариации биоклиматических коэффициентов в разрезе декад вегетационного периода, по годам различной водообеспеченности составили от 24,0 до 71,0 %. Для повышения точности расчётов коэффициентов автор предложил использовать относительные показатели в оценке достоверности полученных данных.

А. И. Михальцевич и А. Е. Жуков [175] разработали модель расчёта эвапотранспирации, которая учитывает взаимосвязь содержания влаги в почве по фазам развития растений.

В работах А. А. Левенко, З. С. Лобжанидзе, Р. И. Горбачевой, С. М. Кривоюза и А. Х. Сорокова [176–179] указано на наличие прямо пропорциональной зависимости эвапотранспирации и запасами влаги в почве; на основании этого и осуществляется уточнение методики расчёта биологических коэффициентов, значения которых зависят от влажности почвы и физиологических режимов жизне-

деятельности растений.

Следует отметить, что эмпирические зависимости коэффициентов от природных климатических характеристик участков орошения определяются по величинам отклонений фактически полученных значений от их соответствующих среднесуточных величин. Работами Е. В. Стельмаха [180] установлена эмпирическая зависимость биоклиматических коэффициентов от урожайности сельскохозяйственных культур.

С. А. Яковлев [181] предложил определять среднюю величину водопотребления сельскохозяйственных культур для данного года обеспеченности путём использования переходных коэффициентов, которые определяются отношением водопотребления заданного года и среднего по обеспеченности.

А. Р. Константиновым и Н. М. Химин [182] разработана методика определения норм водопотребления к автоматизированной системе определения показателей водопользования, реализация которой позволила получить эмпирические зависимости эвапотранспирации сельскохозяйственных культур от запасов влаги в почве и динамики потребности растений в оросительной воде в течение вегетационного периода. Эти закономерности, по мнению исследователей, позволят унифицировать показатели эвапотранспирации по годам исследований за метеопараметрами на соответствующих метеостанциях для различных почвенно-климатических зон орошения. Однако, авторами не обоснована вариативность биоклиматических коэффициентов по региональной принадлежности с учётом особенностей климатических условий. Воднотеплобалансовый метод, определяющий водопотребление и режим орошения сельскохозяйственных культур, разработан Г. В. Талалаевским [183], который отличается высокой точностью в определении величины эвапотранспирации, но требует расширенной исходной информации и величины начальной влажности почвы.

Наряду с совершенствованием методов определения эвапотранспирации культурных растений для различных почвенно-климатических условий районов орошения, важное значение в рациональном использовании интегральных ресурсов, повышающих эффективность эксплуатации орошаемых земель и создания

благоприятной экологической обстановки в агроландшафтах имеет теоретическое обоснование, совершенствование имеющихся и разработка новых методологий управления технологическим процессом с использованием математического аппарата моделирования. Решение данной проблемы в орошаемой земледелии связано с большими трудностями ввиду её значительной зависимости от великого множества стохастических переменных, изменяющихся как во времени, так и пространстве. основополагающей задачей в решении вышеуказанной проблемы является разработка алгоритмов и программ, направленных на значительное снижение удельной эвапотранспирации сельскохозяйственных культур, повышая при этом эффективность орошения и экологическую безопасность агроландшафтов в целом. Первоочередные задачи должны быть решены для оперативного управления технологическими процессами орошения на самом низком иерархическом уровне: почва – растение – атмосфера.

В этом направлении следует отметить разработки Е. П. Галямина, А. Л. Соколова, Ю. П. Добрачева, А. В. Матвеева, А. В. Ильинко [184–187], создавших комплекс математических моделей, применение которых обеспечивает рациональное использование ресурсов на орошаемых массивах.

В главном информационно-вычислительном центре РАСХН (РАН) под руководством академика И. С. Шатилова обоснована технология программированного возделывания сельскохозяйственных культур. В развитие вышеуказанных исследований К. И. Сорочан и Н. А. Канн [188] для условий Ростовской области разработана региональная программа оперативного планирования поливами сельскохозяйственных культур.

Исследования К. А. Блэка, Р. А. Бойко, О. Д. Сиротенко, Р. М. Клейна, Д. Т. Клейна, Г. В. Менжулина, И. П. Айдарова, А. И. Голованова, Ю. Н. Никольского, В. В. Бородычёва, М. Н. Лытова, С. М. Васильева, А. В. Акопян, В. В. Слабунова, И. Н. Калайда, М. С. Григорова, А. И. Хохлова, С. А. Леонтьева [189–196] были посвящены разработке рациональных режимов орошения сельскохозяйственных культур для различных почвенно-климатических, гидрологических и организационно-хозяйственных условий зон

орошения как при нормативных влагозапасах в активном корнеобитаемом слое почвы, так и наличии дефицита на водные ресурсы. Следует отметить, что в отдельных математических моделях, разработанных авторами, прослеживаются соответствующие зависимости эвапотранспирации культур с запасами влаги в расчётном слое почвы и биологическими свойствами растений, климатическими условиями и урожайности. М. Г. Саноняном [197] предложена комплексная модель, включающая закономерности формирования корневой системы растений и влагообмен в зоне аэрации. В её состав входят вероятностно статистические подсистемы, объединяющие как опыт прошлых экспериментов, так и проведённых при разработке обычной модели.

Учёные зарубежных стран также уделяют большое внимание разработке моделей по управлению процессом орошения культурных растений [198–204]. Эти модели имеют стандартный методический подход при решении вышеуказанных проблем и разработаны для различных культур и почвенно-климатических условий орошения. Эвапотранспирация сельскохозяйственных культур определяется с использованием формул Блэйни-Кридли, Пристли-Тейлора и Пенмана.

В США разработана модель ограниченного орошения «LIO» [205] при наличии дефицита в оросительной воде и возделывании культур на различных уровнях влагообеспеченности: без орошения, при сокращённом орошении и полном. В Великобритании [206] разработана математическая модель, обеспечивающая расчёт оптимальной эффективности процесса орошения на оросительных системах. Установлены эмпирические зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от дефицита водных ресурсов.

## **ВЫВОДЫ**

Проведённый выше информационно-аналитический анализ литературных источников российских и зарубежных исследователей позволяет сформулировать выводы и основные направления дальнейших научных поисков в совершенствовании имеющихся методик управления орошением картофеля.

1. Установлено, что в настоящее время имеется широкий спектр научно-технических и технологических разработок по методам определения водопотребления и режимов орошения сельскохозяйственных культур, и в том числе картофеля, для отдельных почвенно-климатических условий зон орошения. Применение полученных параметров для других районов орошения связано, прежде всего, со значительным снижением точности расчётов по установленным моделям и эффективности реализации разработанных мероприятий.

2 Эффективность возделывания картофеля летнего срока посадки определяется высоким качеством и надёжностью реализации технологических процессов. Это обеспечивается теоретическим обоснованием, разработкой и реализацией новых моделей управления орошением.

3. Реализация вышеуказанных подходов позволит разработать модель определения эвапотранспирации, управления орошением картофеля на основе полученных эмпирических зависимостей влияния различных гидрометеорологических факторов и запасов влаги в расчётном слое почвы.

## **2 ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СХЕМА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2.1 Почвенная характеристика района исследований**

Местоположение объекта – Ростовская область, Октябрьский район. Сельскохозяйственные угодья ООО «Агропредприятие «Бессергеновское». В геоморфологическом отношении эксплуатируемый участок расположен в пределах правобережной пойменной террасы р. Дон. Территория орошаемого участка расположена в пределах Северо-Приазовской денудационно-аккумулятивной наклонной равнины. Ее поверхность характеризуется волнистым рельефом, образовавшимся в результате денудации наиболее возвышенных участков и накопления делювия в речной долине. Поверхность рельефа и микрорельефа – ровная без видимых присадочных и эрозионных форм.

Почвенный покров однороден и представлен лугово-чернозёмными почвами разного гранулометрического состава. Верхние 80-см слои представлены глинами, в северо-западной части массива тяжелыми; по остальной территории легкими и средними. Грунтовые воды – безнапорные со свободной поверхностью водного зеркала, в весенне-летний период залегают глубже трёх метров.

По морфологическому строению почвенный покров однороден, верхний слой 0–40 см лугово-черноземных почв незасолен, неосолонцован и не подвержен процессам ощелачивания.

Слабое засоление в виде скопления гипса обнаруживается с глубины 60 и 80 см. Общее содержание солей достигает в некоторых случаях 1 %. Основные показатели почв экспериментального участка характеризуются данными таблиц 2.1 и 2.2. Обеспеченность почвы и растений азотом зависит от уровня плодородия почвы, который в первую очередь определяется по количеству гумуса – органического вещества почвы, чем выше его содержание в почве, тем больше общий запас азота.

Таблица 2.1 – Основные показатели питательных веществ почвы опытного участка

Горизонт отбора образцов	Наличие веществ в почве			
	Нитраты, мг/кг	Фосфор подвижный, мг/кг	Калий обменный, мг/кг	Гумус, %
0–25	18,2	27,6	378	4,75
25–40	15,1	15,4	285	3,74
40–60	21,9	8,0	209	2,81
60–80	17,0	5,9	214	1,66
80–100	6,9	4,4	202	1,12
25–60	18,5	11,7	247	3,30
0–100	15,8	12,3	258	2,82

Таблица 2.2 – Водно-физические характеристики почвы опытного участка

Слой почвы, м	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельная масса, г/см <sup>3</sup>	Скважность, %	Максимальная гигроскопичность, %	НВ, в % от массы сухой почвы
0-0,1	1,23	2,53	53,3	12,42	29,2
0,1-0,2	1,24	2,54	52,7	11,63	28,3
0,2-0,3	1,26	2,53	50,9	10,97	28,7
0,3-0,4	1,35	2,52	47,3	10,32	27,9
0,4-0,5	1,38	2,54	47,2	10,31	26,6
0,5-0,6	1,40	2,56	46,9	10,31	25,6
0,6-0,7	1,42	2,55	46,8	10,32	24,8
0,7-0,8	1,44	2,53	44,6	10,31	24,4
0,8-0,9	1,45	2,55	44,6	10,02	24,0
0,9-1,0	1,46	2,56	44,1	9,82	23,8
0-0,6	1,31	2,53	49,7	10,99	27,7
0-1,0	1,36	2,54	47,8	10,64	26,3

Анализ почвенных образцов показывает, что пахотный слой почвы опытного участка (0–25 см) характеризуется очень низким содержанием нитратов (18,2 мг/кг почвы), низким содержанием подвижного фосфора (27,6 мг/кг почвы) и повышенным содержанием обменного калия (378 мг/кг почвы). Подпахотный слой почвы (25–60 см) характеризуется очень низким содержанием азота и фосфора (18,5 и 11,7 мг/кг почвы соответственно); высоким содержанием калия (247 мг/кг почвы), что объясняется наличием этого элемента в породах, на которых сформировались эти почвы.

Плотность сложения 60-сантиметрового слоя почвы изменяется по горизонтам от 1,23 до 1,40 т/м<sup>3</sup>; удельная масса – от 2,53 до 2,56 т/м<sup>3</sup>; скважность – от 53,3 до 46,9 %; максимальная гигроскопичность – от 11,42 до 10,31 %. По гранулометрическому составу – тяжелосуглинистые: наименьшая влагоемкость в слое 0–0,6 м составляет 27,7 % от массы сухой почвы.

Таким образом, рассматривая водно-физические свойства лугово-чернозёмных почв, можно характеризовать их как хорошие и на настоящий момент не требующие специальных мероприятий по их улучшению, кроме соблюдения надлежащей культуры земледелия.

## 2.2 Климатические условия

По агроклиматическому районированию Ростовской области территория для проведения опытов лежит в пределах очень теплого, недостаточного увлажнения агроклиматического подрайона. Климат территории – резко-континентальный с неустойчивой зимой и жарким летом. Глубина промерзания почвы – 90,0 см. Приведённые метеорологические наблюдения, изложенные в таблице 2.3, получены по метеостанции Ростов-на-Дону за 2012–2014 гг. Средне-многолетняя температура воздуха за годы проведения исследований в наиболее холодный месяц года – январь, составила – минус 4,3 °С. В наиболее жаркий август плюс 24,8 °С. Среднемноголетняя плюс 9,9 °С, абсолютный максимум плюс 40,1 °С; абсолютный минимум минус 31,9 °С.

Влагообеспеченность орошаемого массива за вегетационный период характеризовалась гидротермическому коэффициенту Г. Т. Селянинова (формула 2.1):

$$ГТК \equiv \frac{10 \cdot \sum P}{\sum t}, \quad (2.1)$$

где  $ГТК$  – гидротермический коэффициент Селянинова;  $\sum P$  – сумма осадков за вегетационный период, мм;  $\sum t$  – сумма среднесуточных температур воздуха выше плюс 10 °С.

Таблица 2.3 – Метеорологические показатели 2012-2014 гг., м/ст. Ростовская

Годы	Месяцы												Сумма	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	за год	за июль-сентябрь
Осадки, мм														
Средне-многолет-ние	57,6	23,3	44,8	30,6	70,0	52,5	30,7	49,7	36,3	72,4	17,7	56,9	542,2	116,7
2012	40,7	37,1	33,2	28,6	114,9	64,0	49,1	99,4	14,3	37,8	15,5	52,3	586,9	162,8
2013	94,1	18,4	64,9	10,6	9,2	31,3	39,4	47,1	35,6	156,6	31,2	72,6	538,4	122,1
2014	38,2	14,6	36,3	52,5	104	62,2	3,7	25	59	22,9	6,4	61,5	463,8	65,2
Среднемесячная температура, °С														
Средне-многолет-ние	-4,3	-3,6	2,5	12,2	20,1	22,7	24,7	24,8	16,8	9,9	3,1	-2,5	126,4	66,3
2012	-4,8	-9,1	-0,2	14,6	19,7	23,5	25,2	24,5	17,1	13,3	5,4	-3,0	126,2	66,8
2013	-1,0	0,7	3,1	11,7	21,1	23,6	24,4	24,4	16,1	8,5	2,4	-3,9	131,1	64,9
2014	-7,3	-2,4	4,7	10,3	19,4	21,0	24,6	25,6	17,3	7,9	1,6	-0,7	122,0	67,5
Относительная влажность воздуха, %														
Средне-многолет-ние	90	86	76	68	57	55	49	49	57	75	78	88	828	155
2012	90	85	77	63	55	57	49	51	53	70	78	85	813	153
2013	91	83	75	75	51	49	48	50	62	86	75	86	831	160
2014	89	90	76	65	66	59	49	45	57	70	82	92	840	151

Рассматриваемые вегетационные периоды характеризуются как «средневлажный», «средний» и «среднесухой» – гидротермические коэффициенты (ГТК) приняли значения 1,10, 0,65 и 0,27, соответственно за 2012, 2013, 2014 года; в период вегетации выпало 162,8, 122,1, 65,2 мм осадков; относительная влажность воздуха, в среднем, составила 51, 53 и 50 %; сумма среднесуточных температур – 1480, 2001 и 2414 °С по годам исследований.

### 2.3 Программа и методика проведения исследований

Программа исследований предусматривала проведение двух полевых опытов в трёхкратной повторности каждый с размещением опытных делянок систематическим методом. Размеры делянки – прямоугольные: 4,2x20 (6 рядков, ширина между рядами 70 см, длина 20 м). Величина защитных полос и расстояние между вариантами составляли по 2 м; площадь учётной делянки – 84,0 м<sup>2</sup>; опытной – 196,8 м<sup>2</sup>. На опыте № 2 расстояние между вариантами и величина защитных полос, в соответствии со стандартными методиками для сохранения принципа единственного различия при постановке опыта, были увеличены до 8 и 25 м соответственно, а площадь опытной делянки составила – 1951,4 м<sup>2</sup> (рисунок 1). Поливы проводились дождевальными машинами «Фрегат» ДМУ-Б-488-90. Исследования проводились в соответствии с действующими нормативами, стандартами, методиками, сертифицированными приборами и оборудованием. Схема размещения опытных делянок по вариантам в секторе дождевальной машины «Фрегат» для опыта № 2 приведены на рисунке 2.1.

**Опыт 1** – «Изучить закономерности влияния уровня минерального питания на продуктивность картофеля летнего срока посадки при нормативной влагообеспеченности». Опыт включал шесть вариантов: *вариант № 1* – расчётная доза минерального питания (N<sub>150</sub>P<sub>170</sub>K<sub>95</sub>) на планируемую урожайность картофеля 40 т/га, сорта «Беллароза», контроль; *вариант № 2* – доза уменьшена на 15 %; *вариант № 3* – доза уменьшена на 30 %; *вариант № 4* – доза уменьшена на 45 %; *вариант № 5* – доза увеличена на 15 %; *вариант № 6* – доза увеличена на 30 %.



мума» и её максимальной величины. Это требование обосновывает необходимость при постановке полевых экспериментов предусматривать некоторые переувлажнения расчётного слоя почвы. Снижение урожайности относительно «точки оптимума», как правило, допускается в пределах 5–10 % от оптимума.

При реализации полевых экспериментов применялись методики Б. А. Доспехова, В. Н. Плешкова, Т. Н. Кононенко, А. А. Роде [209–214]. Для получения надёжных результатов и их объективного анализа на всех вариантах опытов были проведены следующие наблюдения:

1. Водно-физические характеристики почвы (максимальная гигроскопичность, удельная масса, наименьшая влагоёмкость, плотность и скважность) определяли по методике, изложенной В. С. Астаповым [215].

2. Объёмная масса почвы определялась методом режущего кольца по А. Н. Качинскому, в соответствии с ГОСТ 5180-84.

3. Удельную плотность определяли пикнометрическим методом в соответствии с ГОСТ 5180-84.

4. Наименьшая влагоёмкость слоя почвы устанавливалась методом затопления площадок по методике РосНИИПМ (ЮжНИИГиМ).

5. Анализы опытных образцов почвы для изучения их агрохимических свойств, выполнялись в эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ».

6. Влажность почвы определялась стандартным термостатно-весовым методом, в соответствии с ГОСТ 28268-89.

7. Поливная норма определялась по методике А. Н. Костякова [207] (формула 2.2):

$$m = 100 \cdot H \cdot \alpha \cdot (\beta_{HB} - \beta_{ПР}), \quad (2.2)$$

где  $m$  – поливная норма, м<sup>3</sup>/га;  $H$  – расчётный слой почвы, см;  $\alpha$  – объёмная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $\beta_{HB}$  – наименьшая влагоёмкость почвы, % от массы сухой почвы;  $\beta_{ПР}$  – влажность почвы перед поливом, % от массы сухой почвы;

8. Влагозапасы в расчётном слое почвы определялись по зависимости (формула 2.3):

$$W = 100 \cdot H \cdot \alpha \cdot \beta_{\phi}, \quad (2.3)$$

где  $W$  – величина эвапотранспирации, мм;  $H$  – расчётный слой почвы, м;  $\alpha$  – объёмная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;  $\beta_{\phi}$  – фактическая влажность почвы, мм.

9. Фактические величины эвапотранспирации орошаемого поля картофеля за расчётный период определялись методом водного баланса (формула 2.4):

$$ET = W_H - W_K + P + M + V_{gr} - V_{sp} - V_u, \quad (2.4)$$

где:  $W_H, W_K$  – запасы влаги в почве к началу и концу расчётного периода, мм;  $M, V_{gr}, V_{sp}, V_u$  – соответственно величины оросительной нормы, подпитки грунтовыми водами, поверхностного стока, инфильтрации, мм.  $P$  – осадки, мм;

10. Среднесуточная эвапотранспирация рассчитывалась по формуле 2.5:

$$ET_{сут} = \frac{ET}{n}, \quad (2.5)$$

где  $ET_{сут}$  – среднесуточная эвапотранспирация, мм;  $ET$  – эвапотранспирация за расчётный период, мм;  $n$  – количество дней в периоде.

11. Испаряемость с плоскости водной поверхности определялось по формуле Н. Н. Иванова (формула 2.6):

$$E_w = 0,0018 \cdot (t + 25)^2 \cdot (100 - r), \quad (2.6)$$

где  $t$  – температура воздуха за рассматриваемый промежуток времени, °С;  $r$  – относительная влажность воздуха, %.

12. Дефицит влажности воздуха, определялся по формуле 2.7:

$$d_{\phi} = l_A \cdot (1 - 0,01 \cdot r), \quad (2.7)$$

где  $d_{\phi}$  – дефицит влажности воздуха, мб;  $l_A$  – упругость насыщенного пара, соответствующая температуре воздуха, определяемая по табличным зависимостям изменения температуры, мб;  $r$  – относительная влажность воздуха, %.

13. Биоклиматические коэффициенты определяли по уравнению 2.8:

$$K_E = \frac{ET}{E}, \quad (2.8)$$

где:  $K_E$  – биоклиматический коэффициент;  $ET$  – эвапотранспирация, мм;  $E$  – потенциальная эвапотранспирация, мм.

14. При использовании модели А. М. Алпатьева и С. М. Алпатьева биоклиматические коэффициенты определяли по зависимости 2.9:

$$K_d = \frac{ET}{\sum d}, \quad (2.9)$$

где:  $K_d$  – биоклиматический коэффициент;  $ET$  – эвапотранспирация, мм;  $\sum d$  – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мб.

15. Коэффициенты водопотребления определяли по формулам 2.10 и 2.11:

$$K_{ET} = \frac{ET}{Y}, \quad (2.10)$$

$$K_M = \frac{M}{Y}, \quad (2.11)$$

где  $K_{ET}$  – коэффициент эвапотранспирации;  $K_M$  – коэффициент водного баланса;  $M$  – оросительная норма, мм;  $ET$  – эвапотранспирация, мм;  $Y$  – урожайность, т/га.

16. Фенологические наблюдения проводились на всех опытах путем непосредственного наблюдения и замеров. Использовалась методика государственного сортоиспытания.

17. Площадь листовой поверхности устанавливалась стандартным весовым методом по формуле 2.12:

$$S = \frac{P \cdot S_1 \cdot n}{P_1}, \quad (2.12)$$

где  $S$  – суммарная площадь листьев, см<sup>2</sup>;  $P$  – суммарная масса листьев, г;  $S_1$  – площадь одной высечки, см<sup>2</sup>;  $n$  – количество высечек;  $P_1$  – масса высечек, г.

18. Фиксация времени наступления фаз вегетации реализовывали на закреплённых 25 растениях в двух местах каждой делянки. Начало фазы вегетации наступало при проявлении признака у 10 % растений и полная фаза – у 75 %.

19. Пищевой режим почвы определяли по методике М. К. Каюмова на заданную 40 т/га урожайность. Биохимические анализы проводились в лаборатории в соответствии с общепринятыми методиками.

20. Учет урожая проводили на 1 м<sup>2</sup> в 3–6 повторениях на каждой делянке. По этим метровкам устанавливали структуру урожая: количество клубней, масса клубней и других показателей, согласно стандартным методам.

21. Математическая обработка результатов исследований проводилась по методике Б. А. Доспехова [209].

22. Экономическая и энергетическая эффективность возделывания картофеля устанавливалась по стандартной методике. В основу экономических расчетов положены научно-обоснованные технологические карты путём сопоставления всех видов затрат с реализованной стоимостью продукции.

### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ КАРТОФЕЛЯ**

Экспериментальные исследования по изучению поставленных задач в диссертационной работе проводились при различной водообеспеченности в расчётном слое почвы по дефициту естественного увлажнения. Полевые опыты по изучению динамики прироста массы клубней и урожайности рассматриваемого сорта картофеля «Беллароза» проводились при нормативной влажности в расчётном слое почвы от 0,8 до 1,0 НВ.

Все последующие серии опытов проводились при условии создания заданного дефицита водного баланса от нормативных значений в расчётном слое почвы или его незначительного увеличения и выполнения условия «единственного различия» при постановке и проведении полевых экспериментов. В частности, при изучении режимов орошения сроки проведения поливов во всех вариантах опытов не изменялись.

#### **3.1 Теоретическое обоснование процесса расчёта эвапотранспирации и режимов орошения сельскохозяйственных культур**

Анализ информационно-аналитических источников по изучению и анализу процесса определения эвапотранспирации сельскохозяйственных культур для широкого диапазона почвенно-климатических зон орошаемых территорий России, а также стран ближнего и дальнего зарубежья, позволил установить не только особенности имеющихся методов, но и определить основные научные направления их дальнейшего совершенствования.

Анализ показывает, что на величину эвапотранспирации сельскохозяйственных культур оказывают влияние большое количество нелинейно изменяющихся факторов в замкнутой системе «почва-растение-атмосфера». Большое количество

исследователей [216–231] при проведении полевых экспериментов определяли и определяют фактическое значение эвапотранспирации различных сельскохозяйственных культур для соответствующих зон орошения, но определить эту величину для большинства, и тем более для всех полей на орошаемых землях – нереальная задача. Поэтому, в мелиоративной практике, применяются расчётные методы, с помощью которых эвапотранспирация определяется с достаточной степенью точности по результатам фактических наблюдений, и в том числе за метеорологическими условиями соответствующих орошаемых участков, с последующим сопоставлением полученных величин с данными, полученными при определении эвапотранспирации на существующей сети гидрометеорологических и водобалансовых станций. За уровень сравнения, как правило, принимают комплексную гидрометеорологическую характеристику влияния климатических факторов на процессы потенциальной эвапотранспирации, определяемые по испаромеру ГГИ–3000. Для сравнения точности определения эвапотранспирации фактические данные сопоставляются с моделями определения суммарного испарения по С. М. Алпатьеву и В. П. Остапчику. Вышеуказанный методический подход обосновывает экологически сбалансированную водо- и энергосберегающую модель управления орошением сельскохозяйственных культур на основе пространственно-временной изменчивости гидрометеопараметров и фактических влагозапасов в расчётном слое почвы.

Учёными СевНИИГиМа был поставлен классический полевой опыт по установлению зависимости «урожайность-водобеспеченность» при различных уровнях влагообеспеченности в зависимости от воздействия основных факторов: количества осадков и норм водопотребности, нормы водопотребления, влажности почвы, влажности почвы и водопотребления. Для расчёта норм водопотребности под планируемую урожайность сельскохозяйственных культур СевНИИГиМ совместно с институтами-соисполнителями: ЦНИИКИВР, Росгипроводхоз, Мещерский филиал ВНИИГиМа, БелНИИМиВХ, БСХА, УралНИИВХ, Украинский филиал НИИПиН, Херсонский СХИ, была разработана методика технико-экономического обоснования норм водопотребления (дефицита водного баланса) в орошаемом

земледелии [217], в которых принят следующий методологический подход: «... метод определения расчётной нормы водопотребности ( $M_p$ ) базируется на параболическом виде связи между урожаем и суммарной водообеспеченностью ( $E$ ) в области, близкой к максимальной урожайности». В научной статье Д. Б. Циприса, В. Г. Селезнева, Г. А. Плавника и А. В. Штаковского [218], отмечается, что «... для обоснования возможности использования параболической зависимости урожайности ( $U$ ) от водообеспеченности ( $ET$ ) проведено обобщение материалов, приведённых в литературе по этому вопросу и имеющихся в СевНИИГиМе данных опытов в различных регионах РСФСР»

При обосновании взаимосвязи «урожайность-водообеспеченность», которая описывается в общем виде уравнением параболы, учёные СевНИИГиМа использовали работы Л. Н. Догановской, С. М. Белинского, М. Г. Сулимова, Д. Б. Циприса, А. М. Либермана, Т. А. Плавника, В. А. Понько, О. В. Дивакова, В. И. Иванова [217–225]. В работе И. С. Шатилова [226] отмечается, что зависимость урожайности от водообеспеченности (и других факторов окружающей среды) имеет «куполообразный» характер, что объясняется законом оптимума, на основании которого изменение фактора в ту или иную сторону от оптимальных значений приводит к снижению урожайности. Поэтому, в разработанных рекомендациях [217] предусмотрена необходимость в определении точки оптимума в диапазоне возможного изменения водообеспеченности и её влияния на урожайность с фиксацией её максимальной величины, то есть в опытах необходимо предусматривать и некоторое увеличение водообеспеченности расчётного слоя почвы. Снижение урожайности, как правило, допускается в пределах от 5 до 10 % от оптимума.

Исследованиями В. В. Шабанова, К. П. Арента, Е. А. Стельмаха, С. Г. Бондаренко, И. С. Никитиной, С. А. Петухова, В. В. Корсак, Н. А. Пронько, Б. Б. Шумакова, Л. В. Кирейчевой, И. В. Беловой, И. Ф. Юрченко, В. Н. Щедрина, С. М. Васильева, А. В. Акопян, В. В. Слабунова [227–230] также установлено, что зависимость урожайности как от водообеспеченности, так и других метеорологических факторов имеет «куполообразный» характер.

Исследованиями М. М. Кабакова, В. И. Костика и Р. И. Горбачевой [231] установлено, что зависимость урожайности от величины суммарной водообеспеченности имеет криволинейный характер.

Полевые исследования по изучению закономерности «урожайность-водообеспеченность» кроме вышеуказанных авторов и организаций-соисполнителей, проводились для различных регионов страны с участием ведущих научно-исследовательских институтов: ГрузНИИГиМ, ЮжНИИГиМ (РосНИИПМ), СтавНИИГиМ, КазНИИВХ, СибНИИГиМ, ЛитНИИГиМ, ДальНИИГиМ, для широкого диапазона сельскохозяйственных культур. Материалы данных исследований были обобщены в методических рекомендациях [217] зависимостями «урожайность-водообеспеченность», полученных от различных факторов и различных уровней дефицита водного баланса, которые описываются в общем виде уравнениями параболы.

Учёными ЮжНИИГиМа (РосНИИПМ) в этот период проводились исследования на опытно-мелиоративных станциях: Ростовской, Грозненской, Дагестанской и Сунженском опытно-мелиоративном пункте Грозненской ОМС на следующих сельскохозяйственных культурах: озимой пшеницы, сои на зерно, люцерны на зеленый корм, кукурузы на зерно, томатов, капусты и других. В последующие годы продолжались и в настоящее время продолжаются исследования учёных вышеуказанного научного центра, также ДонГАУ (НГМА-НИМИ) по установлению, в частности, зависимости «урожайность-водообеспеченность» для различных почвенно-климатических зон оросительных систем Северного Кавказа по вышеуказанной методике, что обеспечивает накопление экспериментальных данных и их анализ по изучаемой проблеме. Кроме этого, дальнейшее совершенствование методических подходов в этом направлении обеспечивает возможность разработки оперативных планов водопользования и особенно диспетчерского управления водораспределением.

На основании проведённых многолетних исследований учёными ЮжНИИГиМа (РосНИИПМ) и НИМИ (НГМА-НИМИ ДонГау) по изучению процессов эвапотранспирации различных сельскохозяйственных культур в зависимости от

динамики фактических метеорологических параметров измеряемых на соответствующих метеостанциях для условий конкретных орошаемых массивов, установлены парные коэффициенты корреляции их с потенциальной эвапотранспирацией ( $E_w$ ), температурой воздуха ( $t$ ), дефицитом влажности воздуха ( $d_\phi$ ), осадками ( $P$ ), дефицитом естественного увлажнения ( $ET - P$ ), эвапотранспирацией ( $ET$ ), оросительной нормой ( $M$ ) и урожайностью ( $Y$ ) (таблица 3.1), а также установлена функциональная структура комплекса задач управления орошением (рисунок 3.1). Анализ приведённых данных показывает, что дефицит естественного увлажнения ( $ET - P$ ), характеризующий тепло и влагообеспеченность расчётного слоя почвы в течение вегетационного периода, оказывает значительное влияние на величину эвапотранспирации.

Таблица 3.1 – Парные коэффициенты эвапотранспирации, оросительной нормы и урожайности с основными метеорологическими факторами

Показатели	$E_w$	$t$	$d_\phi$	$P$	$ET - P$	$ET$	$M$	$Y$
$E_w$	–	0,90	0,94	0,81	0,83	0,96	0,74	0,76
$t$	0,90	–	0,80	0,82	0,90	0,73	0,58	0,09
$d_\phi$	0,94	0,80	–	0,74	0,89	0,82	0,72	0,13
$P$	0,81	0,82	0,74	–	0,92	0,20	0,65	0,10
$(ET - P)$	0,83	0,90	0,89	0,92	–	0,93	0,98	0,70
$ET$	0,96	0,73	0,82	0,20	0,93	–	0,78	0,86
$M$	0,74	0,58	0,72	0,65	0,98	0,78	–	0,51
Стандартное отклонение	83,0	178,3	178	57,8	97,9	77,2	112,0	7,0
Коэффициент вариации, $V\%$	10,4	6,4	7,3	30,6	12,0	12,1	33,0	12,0

Установлено, что наиболее высокая взаимосвязь эвапотранспирации с потенциальной эвапотранспирацией – комплексной гидрометеорологической характеристикой, коэффициент корреляции которой составляет 0,96. Наиболее тесно взаимосвязь урожайности сельскохозяйственных культур с эвапотранспирацией и потенциальной эвапотранспирацией, коэффициенты корреляции которых составили, соответственно 0,86 и 0,76.

Зависимость урожайности от оросительной нормы и характеризуется коэффициентом корреляции – 0,51, что значительно снижает достоверность определения параметров при управлении орошением. Эта закономерность объясняется тем,

что одинаковая урожайность может быть получена при различных величинах оросительных норм в разные по тепловлагообеспеченности годы.

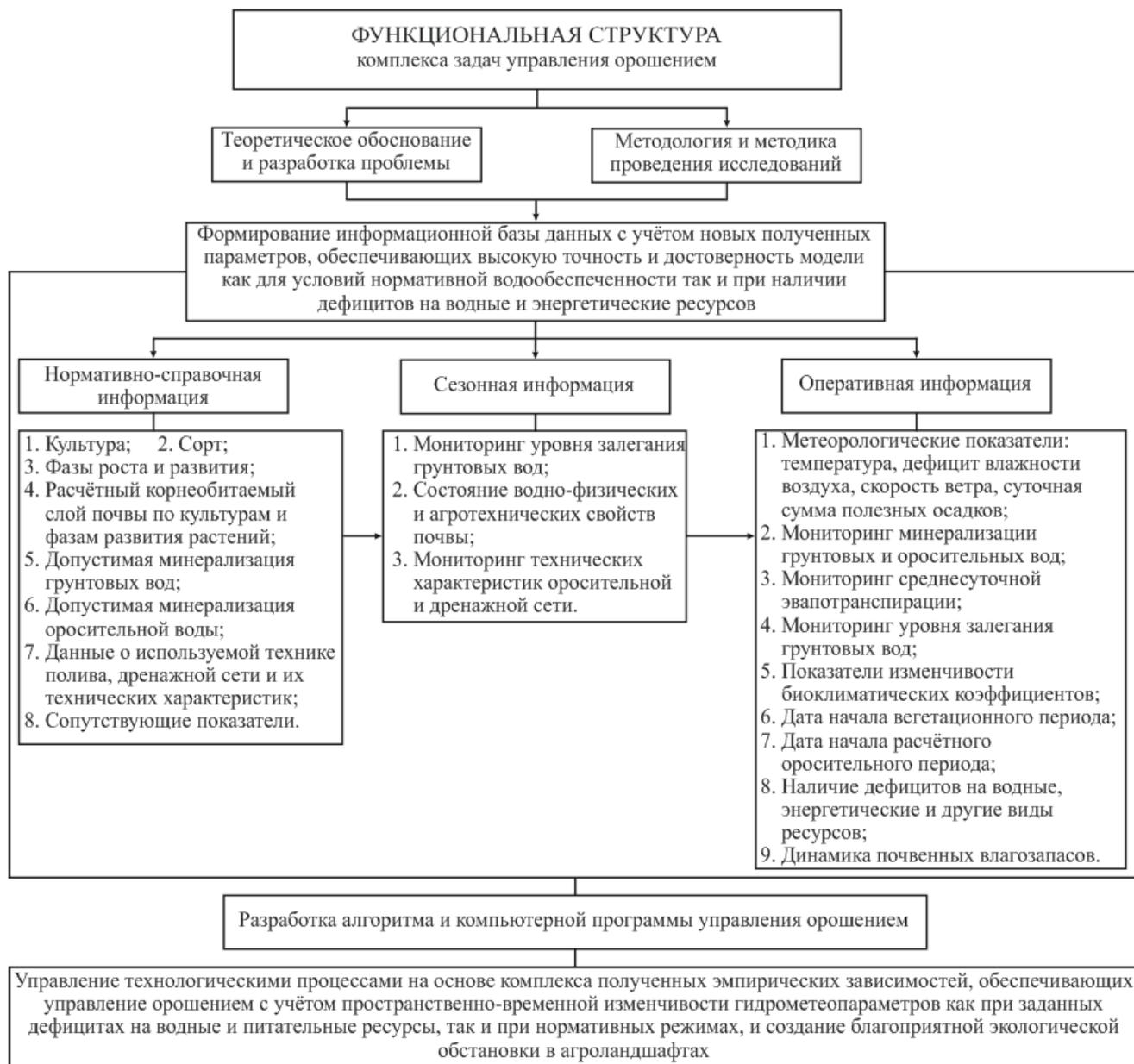


Рисунок 3.1 – Функциональная структура комплекса задач управления орошением

Поэтому, при проведении полевых экспериментов следует получать эмпирические зависимости «урожайность-оросительная норма», используя относительные показатели соответствующих измеряемых величин. Кроме того, анализ значений коэффициентов корреляции даёт возможность установить: во-первых, что наиболее тесно связь эвапотранспирации, оросительных норм и урожайности приходится на следующие гидрометеорологические характеристики: потенциальную эвапотранспирацию и дефицит естественного увлажнения; во-вторых, различные значения

парных коэффициентов корреляций между соответствующими измеряемыми величинами при постановке полевых опытов и гидрометеорологическими переменными, измеряемых на метеостанциях, доказывает отсутствие прямопропорциональной взаимосвязи между ними. Это обстоятельство обосновывает важнейшую закономерность в том, что наиболее точная количественная оценка воздействия гидрометеорологических характеристик на эвапотранспирацию сельскохозяйственных культур может быть получена с применением нелинейных математических взаимосвязей.

### **3.2 Информационная база данных возделывания картофеля**

#### **3.2.1 При планируемых уровнях минерального питания**

Проведённые исследования позволили установить закономерности влияния уровня минерального питания при возделывании картофеля летнего срока посадки на продолжительность вегетационного периода, динамику формирования площади поверхности листьев, динамику нарастания массы клубней и урожайности по физиологическим периодам жизненного цикла растений. Результаты наблюдений в среднем за все годы исследований приведены в таблице 3.2.

Анализ данных показывает, что широкий диапазон изменения уровня минерального питания по всем вариантам опыта не оказал влияния на продолжительность первой фазы – «всходы», которая составила 10 суток; в фазы «бутонизация», «цветение», «прекращение прироста ботвы» и «увядание ботвы» отметим наиболее значительную разницу между вариантом № 4 – (N<sub>106</sub>P<sub>120</sub>K<sub>67</sub>) и вариантом № 6 – (N<sub>194</sub>P<sub>220</sub>K<sub>113</sub>): от двух до трёх суток; в фазу «техническая спелость» не отмечено существенной разницы продолжительности наступления фаз по вариантам опыта. Таким образом, продолжительность вегетационного периода от всходов до технической спелости культуры по вариантам опыта составила от 67 до 74 суток. Самый продолжительный вегетационный период отмечен на варианте № 6 –

$N_{194}P_{220}K_{123}$  (увеличение уровня минерального питания на 30 %) – 74 суток; самый короткий – на варианте № 4 –  $N_{84}P_{95}K_{53}$  (снижение уровня минерального питания на 45 %) – 67 суток.

Таблица 3.2 – Продолжительность вегетационного периода и основных фаз роста и развития картофеля в зависимости от доз внесения минеральных удобрений, в среднем за 2012–2014 гг.

В сут.

Варианты опыта	Суммарная доза удобрений, кг. д.в./га	Фазы роста и развития						«Всходы» – «техническая спелость»
		«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Преращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»	
№ 1. $N_{150}P_{170}K_{95}$ , контроль	415	10	18	7	14	13	9	71
№ 2. $N_{128}P_{145}K_{81}$	354	10	17	7	14	13	9	70
№ 3. $N_{106}P_{120}K_{67}$	293	10	17	7	13	13	9	69
№ 4. $N_{84}P_{95}K_{53}$	232	10	16	7	13	12	9	67
№ 5. $N_{172}P_{195}K_{109}$	476	10	19	7	14	14	9	73
№ 6. $N_{194}P_{220}K_{123}$	537	10	19	7	15	14	9	74

Данные о проведенных исследований темпов нарастания площади листовой поверхности картофеля по фазам роста и развития в зависимости от доз внесения минеральных удобрений приведены в таблице 3.3 и Приложении А, таблица А3.

По данным исследований установлено, что широкий диапазон доз вносимых минеральных удобрений по рассматриваемым вариантам опыта не оказал существенного воздействия на развитие площади листовой поверхности в фазу «всходы», который составил 8,2 тыс. м<sup>2</sup>/га; основной рост площади листовой поверхности происходил в фазы «бутонизация» и «цветение», лучший темп прироста наблюдался на варианте  $N_{194}P_{220}K_{123}$  (увеличение дозы на 30 % от расчётной) соответственно от 39,4 до 41,4 и от 54,3 до 55,8 тыс. м<sup>2</sup>/га за рассматриваемые годы исследований; наименьшие показатели на варианте  $N_{84}P_{95}K_{53}$  (снижение дозы на 45 % от расчётной) соответственно от 27,6 до 30,0 и от 35,1 до 38,1 тыс. м<sup>2</sup>/га за рассматриваемые годы исследований; на варианте  $N_{150}P_{170}K_{95}$  (контроль) соответ-

ственно от 35,7 до 37,2 и от 52,0 до 53,1 тыс. м<sup>2</sup>/га за рассматриваемые годы исследований. После окончания фазы «цветение» прирост площади листовой поверхности значительно снижался, однако продолжался до конца периода «прекращение прироста ботвы». Наблюдалось значительное отмирание ботвы в фазу «увядание ботвы» по всем вариантам опыта.

Таблица 3.3 – Нарастание площади листьев картофеля по фазам роста и развития в зависимости от вносимых доз питания, в среднем за 2012–2014 гг.  
В тыс. м<sup>2</sup>/га

Варианты опытов	Фазы роста и развития				
	«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Преращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»
№ 1. N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub> , контроль	8,2	36,4	51,1	52,5	32,9
№ 2. N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	8,2	33,4	46,1	46,7	30,7
№ 3. N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	8,2	31,3	41,7	42,3	27,4
№ 4. N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	8,2	29,2	36,7	37,4	25,1
№ 5. N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	8,2	38,4	52,8	54,5	34,9
№ 6. N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	8,2	40,3	55,0	56,6	36,2

Эмпирические зависимости прироста площади поверхности листьев растений картофеля при внесении соответствующих доз минерального питания представлены на рисунке 3.2 и описываются уравнениями полиномиального вида второй степени (формулы 3.7–3.12). На рисунке приведены два основных критических периода, описывающие влияние доз внесения минеральных удобрений на формирование площади поверхности листьев, а также контроль.

Вариант № 1 – N<sub>150</sub>P<sub>170</sub>K<sub>95</sub> (контроль) зависимость имеет вид:

$$S_{Л.Д.} = -0,025 \cdot T_{В.П.}^2 + 2,166 \cdot T_{В.П.}; \quad R^2 = 0,89, \quad (3.7)$$

где  $S_{Л.Д.}$  – площадь поверхности листьев при внесении соответствующих уровней доз минеральных удобрений, тыс м<sup>2</sup>/га;  $T_{В.П.}$  – продолжительность вегетационного периода, начиная с фазы «посадка» и до фазы «прекращение прироста ботвы», сут;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

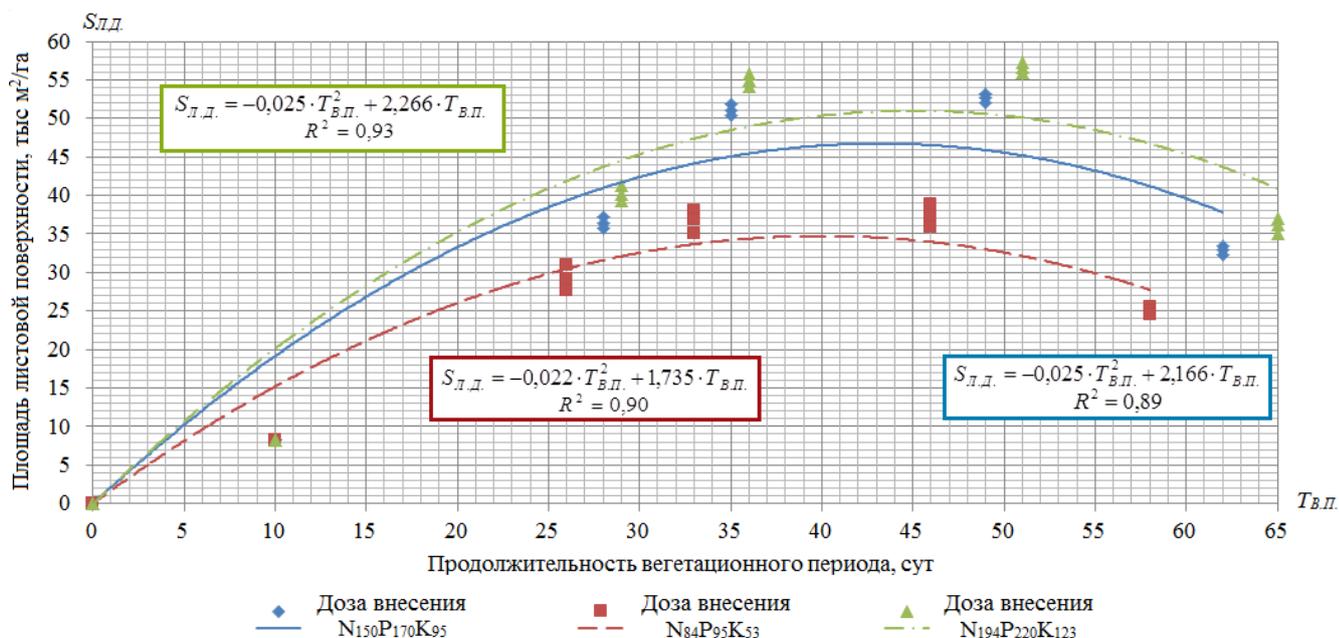


Рисунок 3.2 – Динамика нарастания площади поверхности листьев растений картофеля за вегетационный период при планируемых дозах минерального питания, 2012–2014 гг.

Вариант № 2 – N<sub>128</sub>P<sub>145</sub>K<sub>81</sub> (уменьшение дозы внесения минерального питания на 15 % от контроля):

$$S_{л.д.} = -0,023 \cdot T_{в.п.}^2 + 1,998 \cdot T_{в.п.}; \quad R^2 = 0,91, \quad (3.8)$$

Вариант № 3 – N<sub>106</sub>P<sub>120</sub>K<sub>67</sub> (уменьшение дозы внесения минерального питания на 30 % от контроля):

$$S_{л.д.} = -0,022 \cdot T_{в.п.}^2 + 1,867 \cdot T_{в.п.}; \quad R^2 = 0,92, \quad (3.9)$$

Вариант № 4 – N<sub>84</sub>P<sub>95</sub>K<sub>53</sub> (уменьшение дозы внесения минерального питания на 45 % от контроля):

$$S_{л.д.} = -0,022 \cdot T_{в.п.}^2 + 1,735 \cdot T_{в.п.}; \quad R^2 = 0,90, \quad (3.10)$$

Вариант № 5 – N<sub>172</sub>P<sub>195</sub>K<sub>109</sub> (увеличение дозы внесения минерального питания на 15 % от контроля):

$$S_{л.д.} = -0,024 \cdot T_{в.п.}^2 + 2,169 \cdot T_{в.п.}; \quad R^2 = 0,91, \quad (3.11)$$

Вариант № 6 – N<sub>194</sub>P<sub>220</sub>K<sub>123</sub> (увеличение дозы внесения минерального питания на 30 % от контроля):

$$S_{л.д.} = -0,025 \cdot T_{в.п.}^2 + 2,266 \cdot T_{в.п.}; \quad R^2 = 0,93, \quad (3.12)$$

В результате проведения полевых опытов установлены темпы прироста массы клубней картофеля по фазам его развития в зависимости от расчётных доз минерального питания растений (таблица 3.4; Приложение А, таблица А4).

Таблица 3.4 – Прирост массы клубней картофеля по фазам роста и развития в зависимости от расчётных доз минерального питания, в среднем за 2012–2014 гг.

В т/га

Варианты опыта	Фазы роста и развития				
	«Бутонизация»	«Цветение»	«Прекращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»
Вариант № 1. N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub> , контроль	19,9	26,9	32,2	34,6	36,3
Вариант № 2. N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	17,7	24,2	28,9	32,4	33,9
Вариант № 3. N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	15,1	20,2	24,5	26,0	27,2
Вариант № 4. N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	12,6	15,7	18,9	19,9	20,7
Вариант № 5. N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	21,0	27,9	32,8	35,8	37,1
Вариант № 6. N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	22,6	31,4	36,0	38,9	39,7

Анализ данных показывает, что основной прирост массы клубней картофеля происходил в фазы «бутонизация» и «цветение», максимальная динамика прироста наблюдалась на варианте N<sub>194</sub>P<sub>220</sub>K<sub>123</sub> соответственно от 21,9 до 23,1 и от 30,2 до 32,7 т/га за рассматриваемые годы исследований; наименьшая – установлена на варианте N<sub>84</sub>P<sub>95</sub>K<sub>53</sub> соответственно от 12,0 до 13,2 и от 14,7 до 17,1 т/га; на варианте N<sub>150</sub>P<sub>170</sub>K<sub>95</sub> (контроль), соответственно от 19,4 до 20,5 и от 26,2 до 27,4 т/га. После окончания фазы «цветение» прирост массы клубней снижался, однако продолжался до конца фазы «техническая спелость». В фазу «техническая спелость» урожайность картофеля составила: на варианте N<sub>194</sub>P<sub>220</sub>K<sub>123</sub> – 39,7 т/га, что на 3,4 т/га (или 9,3 %) выше показателей контрольного варианта в среднем за годы исследований; на варианте N<sub>84</sub>P<sub>95</sub>K<sub>53</sub> – 20,7 т/га, что на 15,6 т/га (или 42,9 %) ниже показателей контрольного варианта.

Эмпирические зависимости прироста массы клубней картофеля при внесении различных доз минерального питания, для двух основных периодов, критиче-

ски описывающих их влияние на формирование массы клубней картофеля, а также контроль, в зависимости от продолжительности вегетационного периода, представлены уравнениями полиномиального вида второй степени (формулы 3.13–3.18), рисунок 3.3.

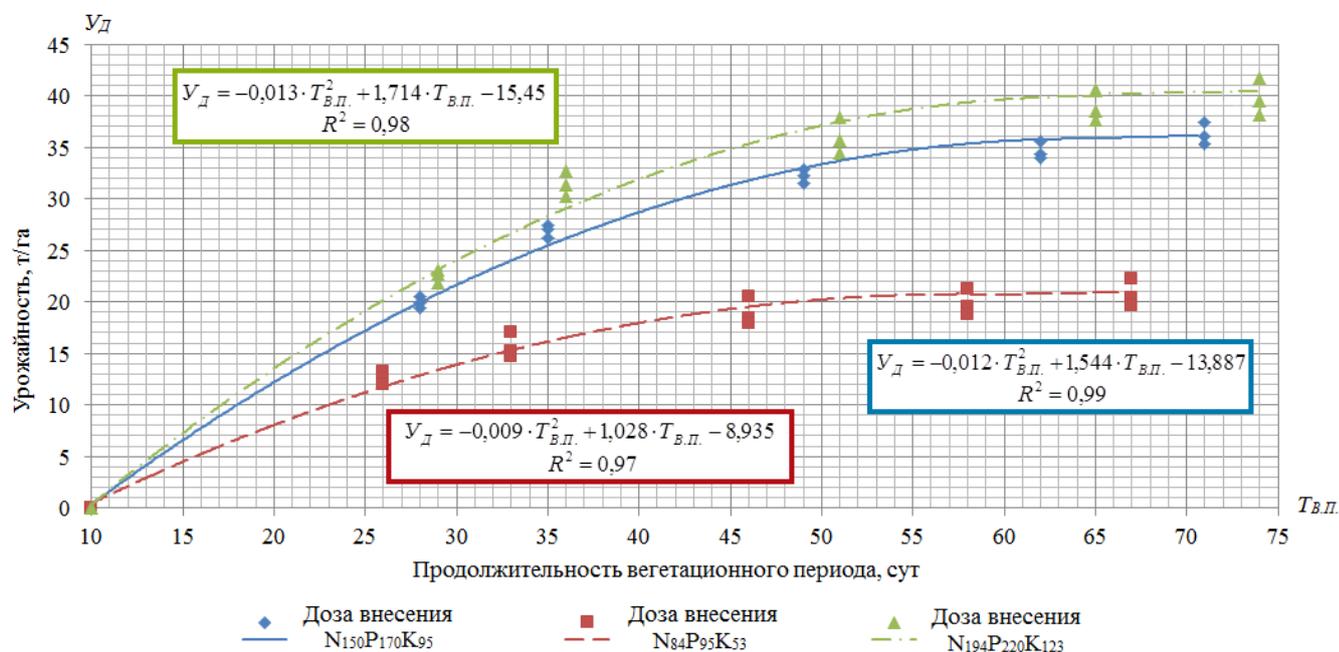


Рисунок 3.3 – Динамика прироста массы клубней картофеля за период вегетации при расчётных дозах минерального питания, 2012–2014 гг.

На варианте № 1 –  $N_{150}P_{170}K_{95}$  (контроль) зависимость имеет вид:

$$Y_{\text{д}} = -0,012 \cdot T_{\text{в.п.}}^2 + 1,544 \cdot T_{\text{в.п.}} - 13,887; \quad R^2 = 0,99, \quad (3.13)$$

где  $Y_{\text{д}}$  – урожайность картофеля при внесении соответствующих уровней доз минерального питания, т/га;  $T_{\text{в.п.}}$  – продолжительность вегетационного периода, начиная с фазы «бутонизация» и до фазы «техническая спелость», сут;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Вариант № 2 –  $N_{128}P_{145}K_{81}$  (уменьшение дозы внесения минерального питания на 15 % от контроля):

$$Y_{\text{д}} = -0,011 \cdot T_{\text{в.п.}}^2 + 1,404 \cdot T_{\text{в.п.}} - 12,539; \quad R^2 = 0,96, \quad (3.14)$$

Вариант № 3 –  $N_{106}P_{120}K_{67}$  (уменьшение дозы внесения минерального питания на 30 % от контроля):

$$Y_{\text{д}} = -0,01 \cdot T_{\text{в.п.}}^2 + 1,239 \cdot T_{\text{в.п.}} - 11,101; \quad R^2 = 0,96, \quad (3.15)$$

Вариант № 4 –  $N_{84}P_{95}K_{53}$  (уменьшение дозы внесения минерального питания на 45 % от контроля):

$$Y_D = -0,009 \cdot T_{B.П.}^2 + 1,028 \cdot T_{B.П.} - 8,935; \quad R^2 = 0,97, \quad (3.16)$$

Вариант № 5 –  $N_{172}P_{195}K_{109}$  (увеличение дозы внесения минерального питания на 15 % от контроля):

$$Y_D = -0,012 \cdot T_{B.П.}^2 + 1,601 \cdot T_{B.П.} - 13,796; \quad R^2 = 0,97, \quad (3.17)$$

Вариант № 6 –  $N_{194}P_{220}K_{123}$  (увеличение дозы внесения минерального питания на 30 % от контроля):

$$Y_D = -0,013 \cdot T_{B.П.}^2 + 1,714 \cdot T_{B.П.} - 15,45; \quad R^2 = 0,98, \quad (3.18)$$

В результате проведённых исследований установлена эмпирическая зависимость динамики урожайности картофеля от внесения различных доз минеральных удобрений, которая представлена на рисунке 3.4.

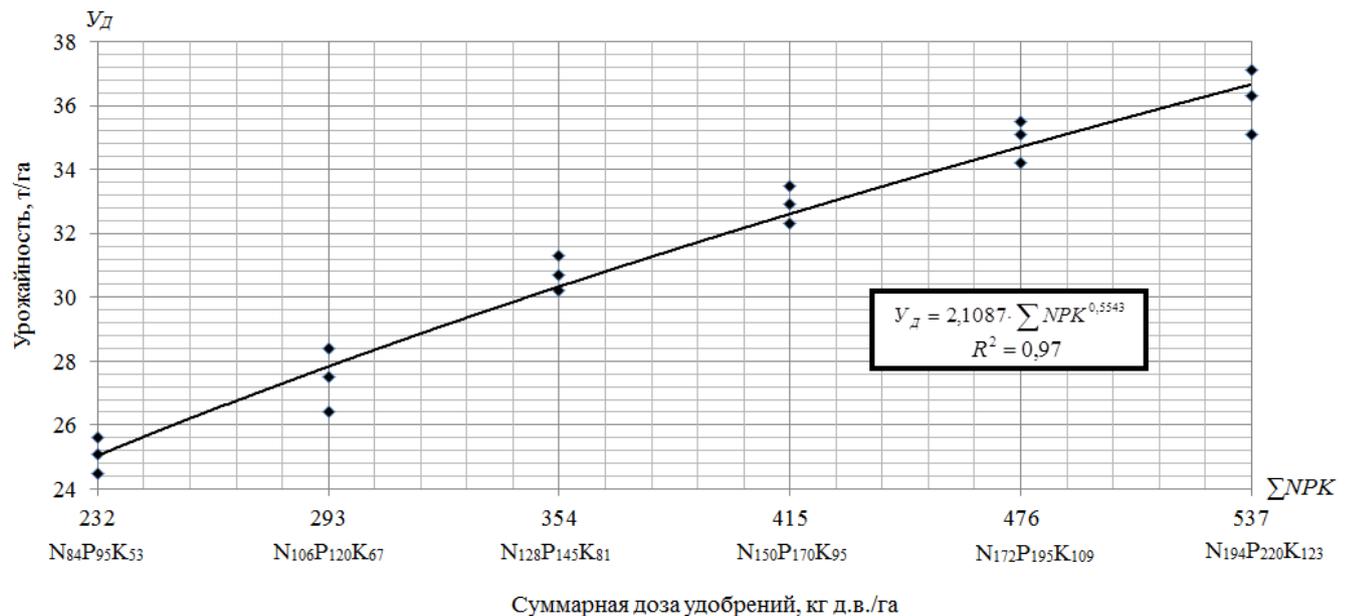


Рисунок 3.4 – Динамика изменения урожайности картофеля при различных дозах внесения минерального питания, в среднем за 2012–2014 гг.

Полученная зависимость описывается уравнением степенного вида, с коэффициентом достоверности аппроксимации  $R^2=0,97$  и имеет вид (формула 3.19):

$$Y_D = 2,109 \cdot \sum NPK^{0,554}, \quad (3.19)$$

где  $Y_D$  – урожайность картофеля при внесении различных доз минерального питания, т/га;  $\sum NPK$  – суммарная доза удобрений, кг д.в./га

### 3.2.2. При заданных дефицитах на водные ресурсы

В результате проведённых исследований изучены закономерности влияния уровня влагообеспеченности в активном корнеобитаемом слое почвы для лет различной обеспеченности по дефициту естественного увлажнения на продуктивность возделывания посадок картофеля по следующим основным параметрам: продолжительности вегетационных периодов, формировании площади листовой поверхности, процессу нарастания массы клубней и урожайности.

Результаты исследований по изучению продолжительности вегетационного периода в зависимости от изменения оросительных норм в среднем за рассматриваемые годы исследований различной обеспеченности приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Продолжительность основных фаз роста и развития картофеля в зависимости от изменения оросительных норм, 2012–2014 гг.

В сут.

Варианты опыта	Фазы роста и развития						«Всходы» – «техническая спелость»
	«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Прекращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»	
Вариант № 1 – («М»), контроль	10	18	7	14	13	9	71
Вариант № 2 – «1,2 М»	10	19	7	14	14	9	73
Вариант № 3 – «0,8 М»	10	18	7	13	13	9	70
Вариант № 4 – «0,6 М»	10	17	7	12	12	9	67

Анализ экспериментальных данных обосновывает заключение о том, что в период вегетации «всходы» развитие растений на всех вариантах опыта протекало равномерно, со средней продолжительностью фазы в 10 суток. Наблюдалось уменьшение продолжительности для фазы «бутонизация» на одни сутки для четвертого варианта опыта «0,6М». В фазу «цветение» сроки наступления для всех вариантов были одинаковы и составляли 7 суток. В фазу «прекращение прироста ботвы» и «увядание ботвы» наблюдалось постепенное снижение сроков для вариантов с уменьшенной поливной нормой (вариант «0,8М» и вариант «0,6 М»). Об-

щая продолжительность вегетации растений от посадки до технической спелости составила от 67 до 73 суток; кроме этого, установлена закономерность снижения общей продолжительности периода вегетации по мере уменьшения поливной нормы.

Площадь поверхности листьев растений картофеля устанавливалась по фазам развития в течение периода вегетации, начиная с фазы «всходы» и до фазы «увядание ботвы». Результаты исследований за 2012–2014 гг. приведены в таблице 3.6 и Приложении А, таблица А5.

Таблица 3.6 – Нарастание площади поверхности листьев растений картофеля по фазам его развития в зависимости от режимов орошения в среднем за 2012–2014 гг.

В тыс. м<sup>2</sup>/га

Варианты опыта	Фазы роста и развития				
	«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Прекращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»
Вариант 1 – («М»), контроль	8,2	38,4	51,0	52,3	32,9
Вариант 2 – «1,2 М»	8,2	40,9	53,1	54,9	34,8
Вариант 3 – «0,8 М»	8,2	36,5	46,4	48,7	30,9
Вариант 4 – «0,6 М»	8,2	33,3	41,6	43,4	26,2

По данным исследований установлено, что основной рост площади поверхности листьев происходил в фазы «бутонизация» и «цветение», лучший темп прироста наблюдался на варианте «1,2 М» – от 40,1 до 41,6 тыс. м<sup>2</sup>/га и от 51,4 до 54,1 тыс. м<sup>2</sup>/га, в среднем 40,9 и 53,1 тыс. м<sup>2</sup>/га, что составило на 2,5 и 2,1 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 6,5 и 4,1 %) соответственно выше показателей контрольного варианта «М»; наименьшие показатели отмечены на варианте «0,6 М» – от 32,4 до 34,5 тыс. м<sup>2</sup>/га и от 38,9 до 44,7 тыс. м<sup>2</sup>/га, в среднем 33,3 и 41,6 тыс. м<sup>2</sup>/га, что на 5,1 и 9,4 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 13,3 и 18,4 %) соответственно ниже показателей контрольного варианта («М») в среднем за годы исследований. После окончания фазы «цветение» прирост площади листовой поверхности значительно снижается,

однако продолжается до конца фазы «прекращение прироста ботвы». Наблюдалось значительное отмирание ботвы в фазу «увядание ботвы» по всем вариантам опыта, площадь листовой поверхности при режиме орошения «М» (контроль) составила от 32,3 до 33,4 тыс. м<sup>2</sup>/га; при «1,2 М» (увеличение поливной нормы на 20 %) – от 34,1 до 35,5 тыс. м<sup>2</sup>/га; при «0,8 М» (уменьшение поливной нормы на 20 %) – от 29,8 до 31,9 тыс. м<sup>2</sup>/га; при «0,6 М» (уменьшение поливной нормы на 40 %) – от 24,7 до 27,8 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Эмпирические зависимости прироста площади листовой поверхности картофеля при изменении оросительных норм для лет с различной обеспеченностью дефицита естественного увлажнения описываются уравнениями полиномиального вида второй степени (формулы 3.20–3.23) и представлены на рисунке 3.5.

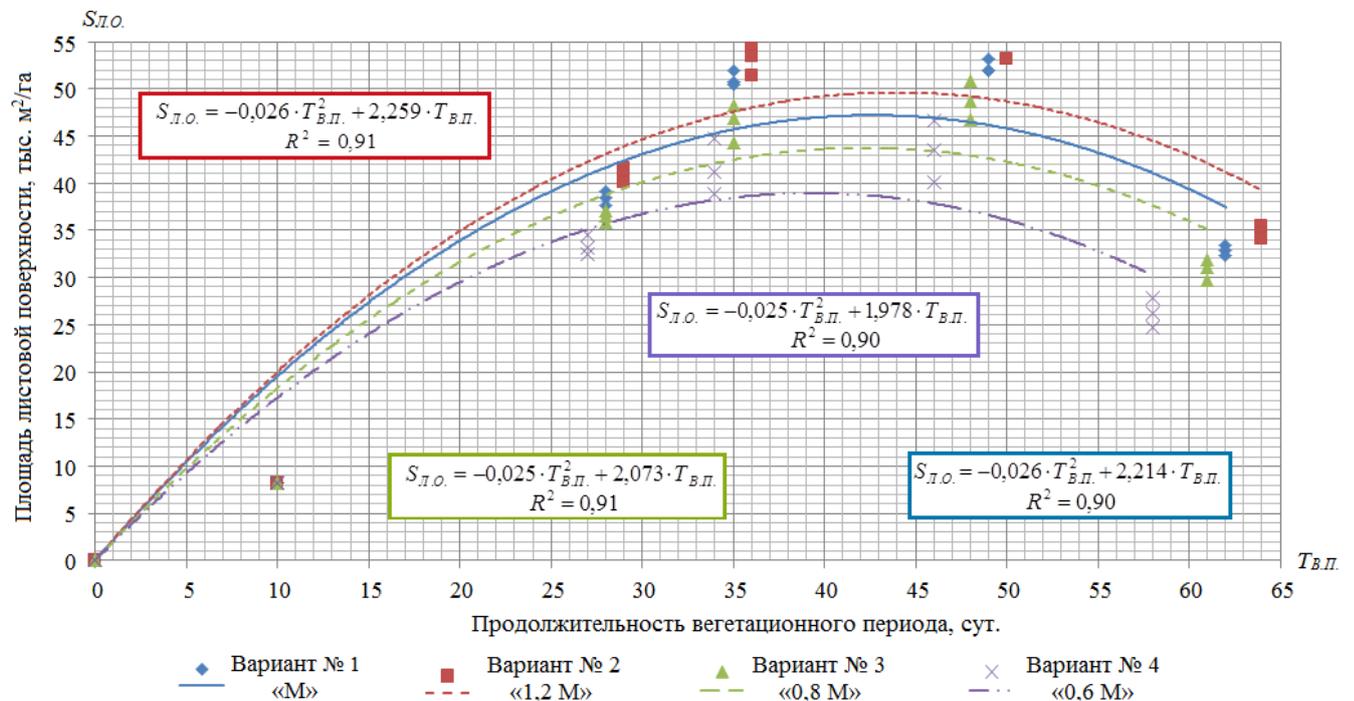


Рисунок 3.5 – Динамика формирования площади поверхности листьев растений картофеля за вегетационный период при изменении оросительных норм, 2012–2014 гг.

Вариант № 1 – «М» (контроль):

$$S_{л.о.} = -0,026 \cdot T_{в.п.}^2 + 2,214 \cdot T_{в.п.}; \quad R^2 = 0,90, \quad (3.20)$$

где  $S_{л.о.}$  – площадь поверхности листьев при изменении оросительных норм, тыс. м<sup>2</sup>/га;  $T_{в.п.}$  – продолжительность вегетационного периода, начиная с фазы

«посадка» и до фазы «прекращение прироста ботвы», сут;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Вариант № 2 – «1,2 М»:

$$S_{Л.О.} = -0,026 \cdot T_{Б.П.}^2 + 2,259 \cdot T_{Б.П.}; \quad R^2 = 0,91, \quad (3.21)$$

Вариант № 3 – «0,8 М»:

$$S_{Л.О.} = -0,025 \cdot T_{Б.П.}^2 + 2,073 \cdot T_{Б.П.}; \quad R^2 = 0,91, \quad (3.22)$$

Вариант № 4 – «0,6 М»:

$$S_{Л.О.} = -0,025 \cdot T_{Б.П.}^2 + 1,978 \cdot T_{Б.П.}; \quad R^2 = 0,90, \quad (3.23)$$

Показатели прироста массы клубней определялись по фазам развития в течение периода вегетации растений картофеля, начиная с фазы «бутонизация» и до фазы «техническая спелость». Результаты исследований за 2012–2014 гг. приведены в таблице 3.7 и Приложении А, таблица А6.

Таблица 3.7 – Прирост массы клубней картофеля в зависимости от изменения оросительных норм в среднем за 2012–2014 гг.

В т/га

Варианты опыта	Фазы роста и развития				
	«Бутонизация»	«Цветение»	«Пре­краще­ние прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»
Вариант 1 – («М»), контроль	19,1	27,3	31,7	34,5	37,1
Вариант 2 – «1,2 М»	19,4	27,8	32,3	34,9	37,4
Вариант 3 – «0,8 М»	18,4	25,5	29,2	33,0	35,2
Вариант 4 – «0,6 М»	12,9	15,3	17,4	19,4	20,5

Анализ данных таблицы 3.13 показал, что наивысший темп прироста массы клубней картофеля наблюдался в период, начиная с фазы «бутонизация» до фазы «цветение». В дальнейшем темп прироста снижается постепенно до фазы «техническая спелость». Следует отметить, что показатели прироста массы клубней по вариантам 1–3 на конец фазы «бутонизация» минимальны и составляют в среднем от 19,4 до 18,4 т/га. В дальнейшем, начиная с периода «прекращение прироста

ботвы», показатели прироста начинают увеличиваться со сходной динамикой изменения поливных норм до наступления фазы «техническая спелость». На варианте «0,6 М» установлен минимальный прирост массы клубней по всем фазам развития, величина которого достигла максимальных значений в фазу «техническая спелость» и составила 20,5 т/га, что на 16,6 т/га (или 44,7 %) меньше урожайности на контрольном варианте «М» в среднем за рассматриваемые годы исследований. На варианте «1,2 М», при завышении поливных норм на 20 % от расчётных, динамика нарастания массы клубней была незначительной в сравнении с контрольным вариантом «М» и составила 0,3 т/га (или 0,8 %).

Эмпирические зависимости прироста массы клубней картофеля при изменении оросительных норм для лет с различной обеспеченностью за годы исследований (2012–2014 гг.) описываются уравнениями полиномиального вида второй степени (формулы 3.24–3.27) и представлены на рисунке 3.6.

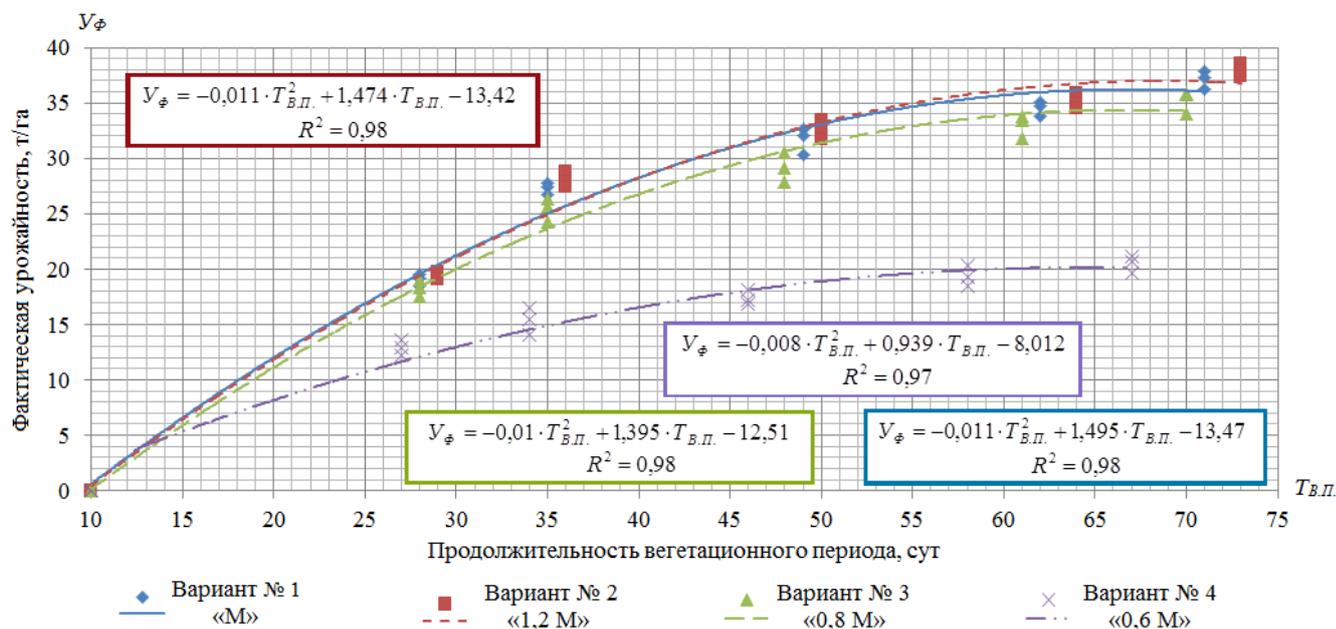


Рисунок 3.6 – Динамика нарастания массы клубней картофеля за вегетационный период при изменении оросительных норм, 2012–2014 гг.

Вариант № 1 – «М» (контроль):

$$V_{\phi} = -0,011 \cdot T_{в.п.}^2 + 1,495 \cdot T_{в.п.} - 13,47; \quad R^2 = 0,98, \quad (3.24)$$

где  $V_{\phi}$  – фактическая урожайность картофеля, т/га;  $T_{в.п.}$  – продолжительность вегетационного периода, начиная с фазы «бутонизация» и до фазы «техническая спелость», сут;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Для варианта «1,2 М»:

$$Y_{\phi} = -0,011 \cdot T_{B.П.}^2 + 1,474 \cdot T_{B.П.} - 13,42; \quad R^2 = 0,98, \quad (3.25)$$

Для варианта «0,8 М»:

$$Y_{\phi} = -0,01 \cdot T_{B.П.}^2 + 1,395 \cdot T_{B.П.} - 12,51; \quad R^2 = 0,98, \quad (3.26)$$

Для варианта «0,6 М»:

$$Y_{\phi} = -0,008 \cdot T_{B.П.}^2 + 0,939 \cdot T_{B.П.} - 8,012; \quad R^2 = 0,97, \quad (3.27)$$

### 3.3 Режим орошения картофеля при заданных уровнях водообеспеченности

Исследования проводились с целью изучения режимов орошения картофеля на основании закона оптимума, позволившего обосновать диапазон изменения планируемой обеспеченности, как при наличии дефицита исследуемого фактора, так и при необходимом и достаточном уровне переувлажнения расчётного слоя почвы для определения «точки оптимума». Реализация подобного метода позволила разработать новые технические и технологические решения и в том числе, обосновать оптимальный диапазон изменения величин дефицита водообеспеченности корнеобитаемого слоя почвы при допустимом снижении урожайности картофеля до 10 % от оптимума, согласно требованиям общего закона оптимума. При проведении полевых исследований дефицит водообеспеченности был принят в количестве 7 и 14 мм по поливной норме по отношению к расчётной величине и 7 мм при переувлажнении расчётного слоя почвы, что соответствует ранее установленным стандартам при изучении режимов орошения с изменением оросительных норм по отношению к контрольному варианту от «1,2 М» до «0,6 М» с интервалом в «0,2 М» и динамики запасов влаги в активном корнеобитаемом слое почвы для характерных лет обеспеченностей по дефициту естественного увлажнения. Результаты исследований приведены в таблице 3.8 и Приложении Б, таблицы Б1–Б3.

Таблица 3.8 – Элементы режима орошения картофеля летнего срока посадки, 2012–2014 гг.

Год	Варианты	Поливная норма, мм	Количество поливов, шт	Оросительная норма, мм
«средневлажный» 2012 год	1 «1 М», контроль	35,0	4	140,0
	2 «1,2 М»	42,0	4	168,0
	3 «0,8 М»	28,0	4	112,0
	4 «0,6 М»	21,0	4	84,0
«средний» 2013 год	1 «1 М», контроль	35,0	6	210,0
	2 «1,2 М»	42,0	6	252,0
	3 «0,8 М»	28,0	6	168,0
	4 «0,6 М»	21,0	6	126,0
«среднесухой» 2014 год	1 «1 М», контроль	35,0	8	280,0
	2 «1,2 М»	42,0	8	336,0
	3 «0,8 М»	28,0	8	224,0
	4 «0,6 М»	21,0	8	168,0
Среднее	1 «1 М», контроль	35,0	6	210,0
	2 «1,2 М»	42,0	6	252,0
	3 «0,8 М»	28,0	6	168,0
	4 «0,6 М»	21,0	6	126,0

Динамика варьирования влажности в расчётном слое почвы (0–60 см) с изменением оросительных норм для лет с различной обеспеченностью по дефициту естественного увлажнения приведены на рисунках 3.7, 3.8 и 3.9.

Анализ данных показал, что для «средневлажного» года по дефициту естественного увлажнения (2012) было проведено четыре вегетационных полива: первый – с 25 по 29 июня; второй – с 2 июня по 7 июля; третий – с 20 по 24 июля; четвертый – с 18 по 22 августа. Оросительные нормы по вариантам опыта «М», «1,2 М», «0,8 М» и «0,6 М» составили 140, 168, 112 и 84 мм соответственно. Для «среднего» года по дефициту естественного увлажнения (2013) было проведено шесть вегетационных поливов: первый – с 23 по 27 июня; второй – с 30 июня по 4 июля; третий – с 10 по 14 июля; четвертый – с 23 по 27 июля; пятый – с 5 по 9 августа; шестой – с 17 по 21 августа. Оросительные нормы по вариантам опыта «М», «1,2 М», «0,8 М» и «0,6 М» составили 210, 252, 168 и 126 мм соответственно. Для «среднесухого» 2014 года было проведено 8 вегетационных поливов: первый – с

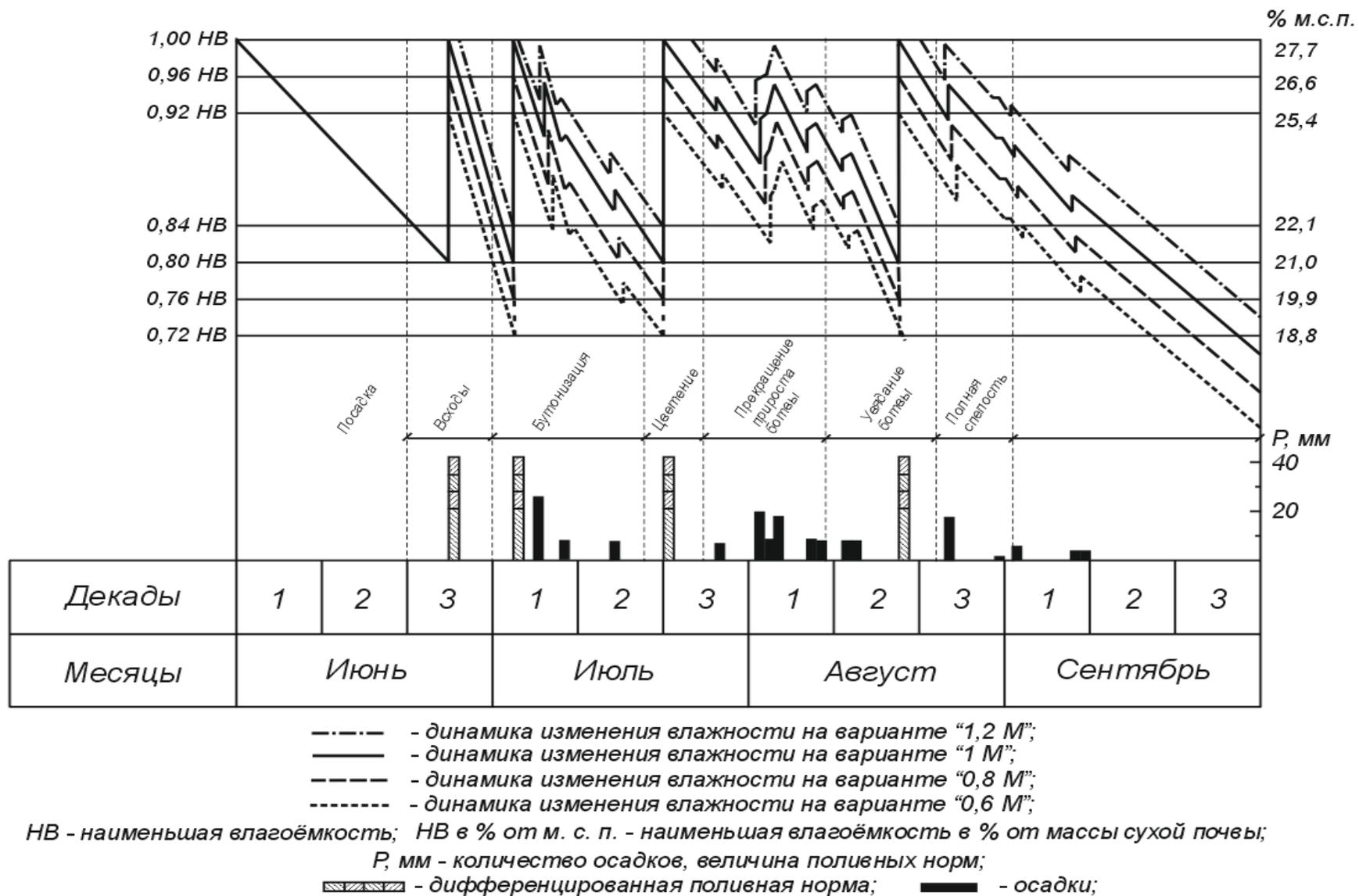


Рисунок 3.7 – Динамика изменения влажности в расчётном слое почвы для условий «средневлажного» 2012 года

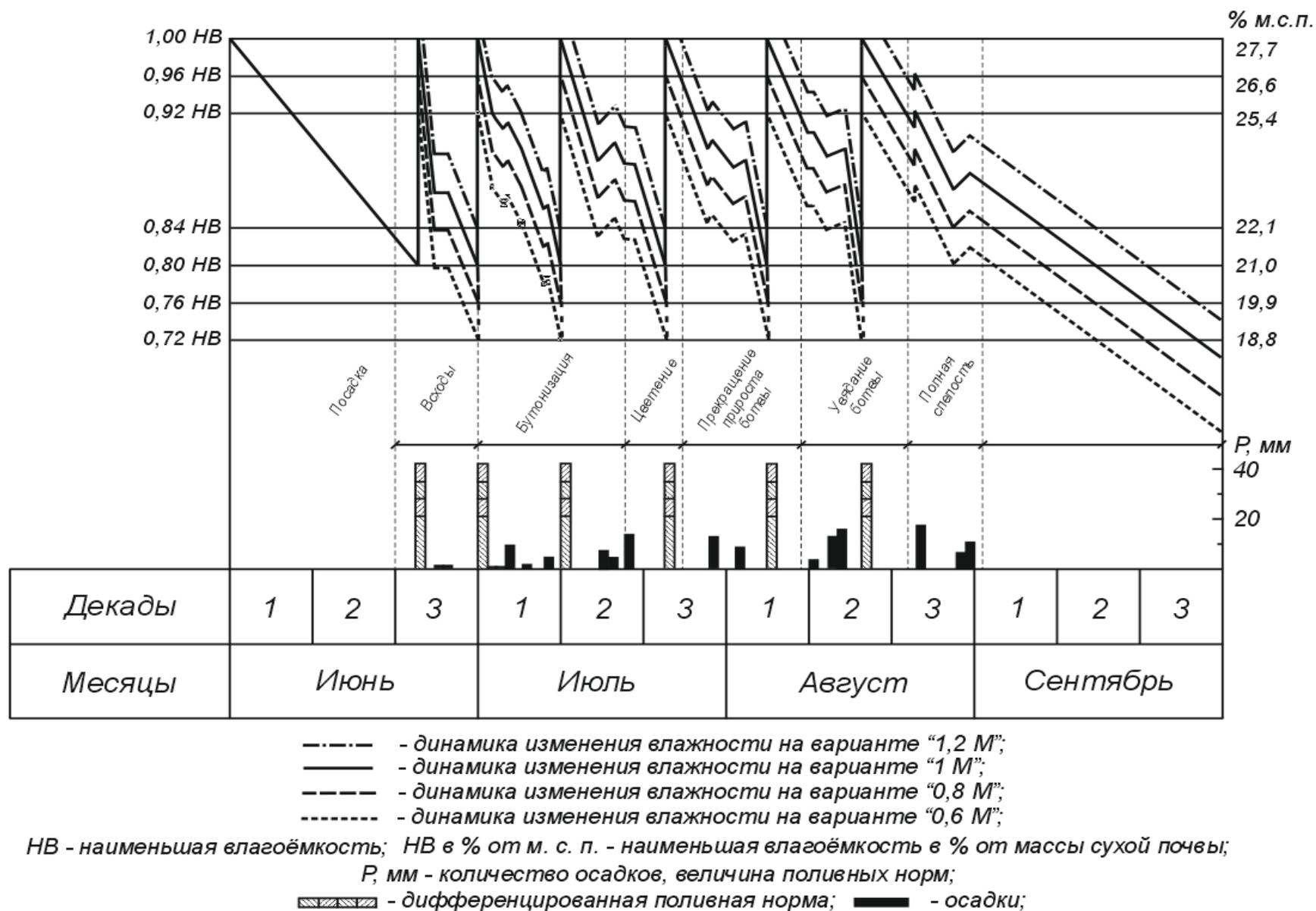


Рисунок 3.8 – Динамика изменения влажности в расчётном слое почвы для условий «среднего» 2013 года

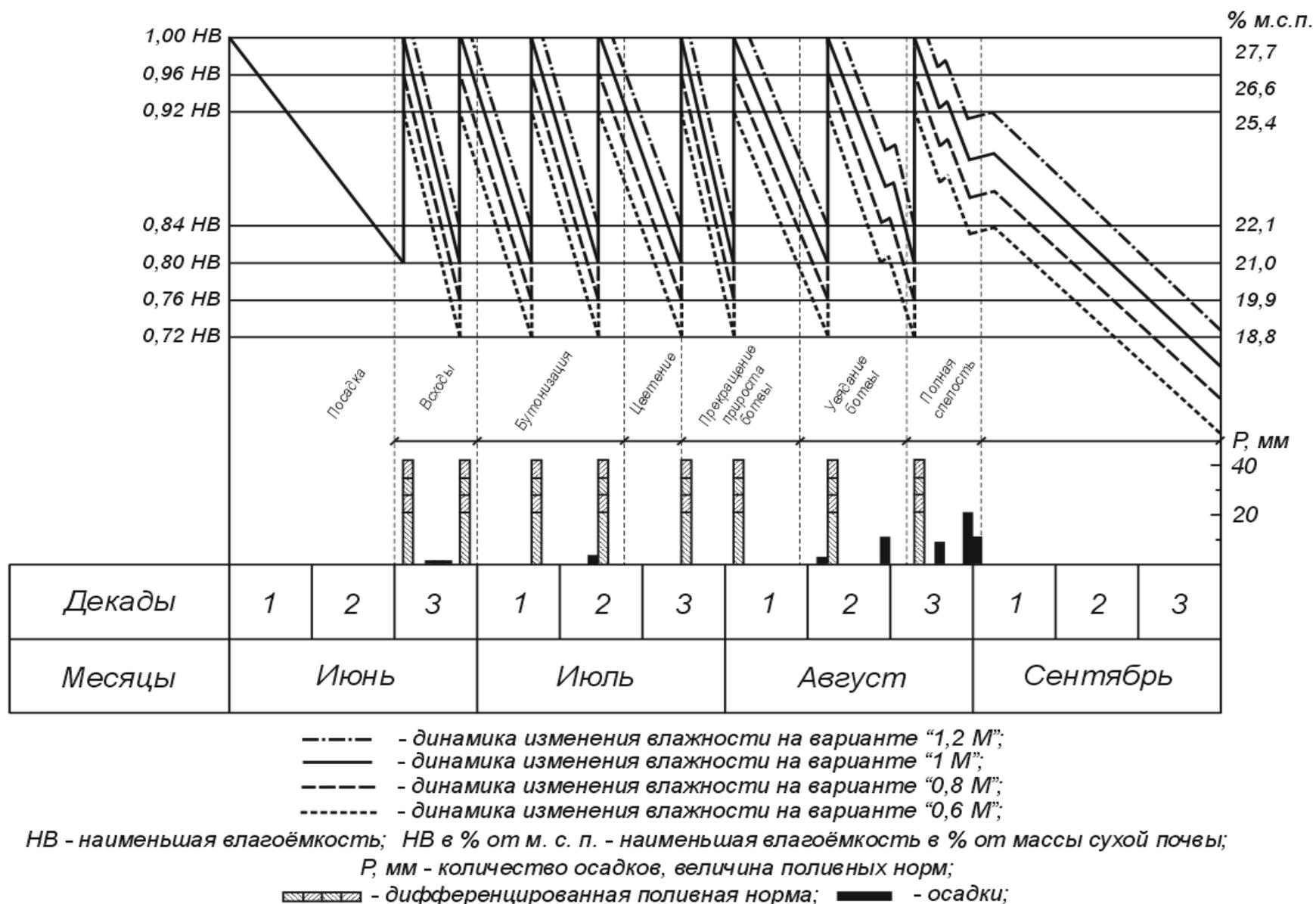


Рисунок 3.9 – Динамика изменения влажности в расчётном слое почвы для условий «среднесухого» 2014 года

22 по 26 июня; второй – с 29 июня по 3 июля; третий – с 8 по 11 июля; четвертый – с 15 по 19 июля; пятый – с 25 по 29 июля; шестой – с 2 по 6 августа; седьмой – с 12 по 16 августа; восьмой – с 23 по 27 августа. Оросительные нормы по вариантам опыта «М», «1,2 М», «0,8 М» и «0,6 М» составили 280, 336, 224 и 168 мм соответственно. Анализ данных показывает, что динамика влажности почвы для варианта «М» изменялась от 1,00 до 0,80 НВ (или от 27,7 до 22,1 %); для варианта «1,2 М» – от 1,00 до 0,84 НВ (или от 28,8 до 22,1 %); для варианта «0,8 М» – от 0,96 до 0,76 НВ (или от 26,6 до 19,9 %); для варианта «0,6 М» – от 0,92 до 0,72 НВ (или от 25,4 до 18,8 %);

### **3.4 Динамика водного баланса орошаемого поля картофеля при различных уровнях влагообеспеченности**

Эвапотранспирация и урожайность картофеля летнего срока посадки изучались при изменении режима орошения для лет различной обеспеченности по дефициту естественного увлажнения. Результаты полевых опытов по изучению элементов уравнения водного баланса орошаемого поля, а так же урожайности картофеля за рассматриваемые годы наблюдений приведены в таблицах 3.9–3.11, а средние данные по годам в таблице 3.12. Статистическая обработка опытных данных элементов уравнения водного баланса, урожайности и коэффициентов водного баланса, указывающая на степень взаимосвязи рассматриваемых характеристик приведена в Приложении Б, таблицы Б1–Б4. Проведённые эксперименты позволили изучить структуру водного баланса орошаемого поля (рисунок 3.10).

Анализ данных «средневлажного» 2012 года показывает, что начальные влагозапасы почвы ( $W_H$ ) составляли 231 мм и не изменялись по вариантам опыта; в свою очередь конечные влагозапасы ( $W_K$ ) приняли значения 164, 166, 167 и 178 мм соответственно по вариантам опыта. Величина эвапотранспирации ( $ET$ ) изменялась от 351 до 396 мм; коэффициенты водного баланса, характеризующие удельную потребность в оросительной воде для получения тонны продукции ( $K_M$ ) и коэффициент по эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) приняли значения 9,8, 10,4, 9,4, 14,1 и

3,7, 4,4, 3,1, 4,0 мм соответственно по вариантам опыта. Стандартное отклонение ( $\sigma$ ) и наименьшая существенная разница ( $HCP_{05}$ ) для оросительной нормы ( $M$ ) составили соответственно 32,69 и 20,77 мм; для конечных влагозапасов ( $W_K$ ) – 5,69 и 3,60 мм; для эвапотранспирации ( $ET$ ) – 37,40 и 23,74 мм; для урожайности ( $Y$ ) – 7,32 и 4,62 т/га; для коэффициента эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) – 1,95 и 1,23 мм/т; для коэффициента водного баланса ( $K_M$ ) – 0,49 и 0,30 мм/т. Коэффициент вариации ( $V$ ) для оросительной нормы ( $M$ ) составил 25,95 %; для конечных влагозапасов ( $W_K$ ) – 3,37 %; для эвапотранспирации ( $ET$ ) – 10,65 %; для урожайности ( $Y$ ) – 20,1 %; для коэффициента эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) – 17,85 %; для коэффициента водного баланса ( $K_M$ ) – 13,03 %.

Таблица 3.9 – Элементы уравнения водного баланса посадок картофеля «средневлажного» года по дефициту естественного увлажнения, 2012 г.

Варианты опыта	Элементы уравнения водного баланса, мм					Y т/га	$K_{ET}$ , мм/т	$K_M$ , мм/т
	$W_H$	$P$	$M$	$W_K$	$ET$			
1 «М»	231	163	140	164	370	37,9	9,8	3,7
2 «1,2 М»	231	163	168	166	396	38,0	10,4	4,4
3 «0,8 М»	231	163	112	167	339	35,9	9,4	3,1
4 «0,6 М»	231	163	84	178	300	21,2	14,1	4,0
Среднее	231	163	126	169	351	33,2	10,9	3,8
$\sigma$	–	–	32,69	5,69	37,40	7,32	1,95	0,49
$V$ (%)	–	–	25,95	3,37	10,65	22,01	17,85	13,03
$HCP_{05}$	–	–	20,77	3,60	23,74	4,62	1,23	0,30

Таблица 3.10 – Элементы уравнения водного баланса посадок картофеля «среднего» года по дефициту естественного увлажнения, 2013 г.

Варианты опыта	Элементы уравнения водного баланса, мм					Y т/га	$K_{ET}$ , мм/т	$K_M$ , мм/т
	$W_H$	$P$	$M$	$W_K$	$ET$			
1 «М»	215	122	210	172	375	37,3	10,0	5,6
2 «1,2 М»	215	122	252	191	398	37,5	10,6	6,7
3 «0,8 М»	215	122	168	159	346	35,8	9,6	4,7
4 «0,6 М»	215	122	126	158	305	20,7	14,7	6,0
Среднее	215	122	189	170	356	32,8	11,2	5,7
$\sigma$	–	–	49,04	13,91	32,28	7,34	2,12	0,75
$V$ (%)	–	–	25,95	8,18	10,19	22,37	18,96	13,13
$HCP_{05}$	–	–	31,13	8,82	23,03	3,80	1,09	1,34

Таблица 3.11 – Элементы уравнения водного баланса посадок картофеля «среднесухого» года по дефициту естественного увлажнения, 2014 г.

Варианты опыта	Элементы уравнения водного баланса, мм					У т/га	$K_{ET}$ , мм/т	$K_M$ , мм/т
	$W_H$	$P$	$M$	$W_K$	$ET$			
1 «М»	200	65	280	165	380	36,2	10,5	7,7
2 «1,2 М»	200	65	336	200	401	36,7	10,9	9,1
3 «0,8 М»	200	65	224	139	350	34,0	10,3	6,6
4 «0,6 М»	200	65	168	118	315	19,6	16,1	8,6
Среднее	200	65	252	156	361	31,6	11,9	8,0
$\sigma$	–	–	65,39	42,08	33,83	7,32	2,51	0,99
$V(\%)$	–	–	25,95	28,26	9,36	23,17	21,02	12,42
$HCP_{05}$	–	–	33,90	21,82	17,53	3,79	1,29	0,50

Исследованиями установлено, что для условий «среднего» 2013 года начальные влагозапасы почвы ( $W_H$ ) составляли 215 мм и не изменялись по вариантам опыта; в свою очередь конечные влагозапасы ( $W_K$ ) приняли значения 172, 191, 159 и 158 мм соответственно по вариантам опыта. Величина эвапотранспирации ( $ET$ ) изменялась от 305 до 398 мм; коэффициенты водного баланса, характеризующие удельную потребность в оросительной воде для получения тонны продукции ( $K_M$ ) и удельный показатель по эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) приняли значения 10,0, 10,6, 9,6, 14,7 и 5,6, 6,7, 4,7, 6,0 мм соответственно по вариантам опыта. Стандартное отклонение ( $\sigma$ ) и наименьшая существенная разница ( $HCP_{05}$ ) для оросительной нормы ( $M$ ) составили 49,04 и 31,13 мм; для конечных влагозапасов ( $W_K$ ) – 13,91 и 8,82 мм; для эвапотранспирации ( $ET$ ) – 32,28 и 23,03 мм; для урожайности ( $U$ ) – 7,34 и 3,80 т/га; для коэффициента эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) – 2,12 и 1,09 мм/т; для коэффициента водного баланса ( $K_M$ ) – 0,75 и 1,34 мм/т соответственно. Коэффициент вариации ( $V$ ) для оросительной нормы ( $M$ ) составил 25,95 %; для конечных влагозапасов ( $W_K$ ) – 8,18 %; для эвапотранспирации ( $ET$ ) – 10,19 %; для урожайности ( $U$ ) – 22,01 %; для коэффициента эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) – 17,85 %; для коэффициента водного баланса ( $K_M$ ) – 13,03 %.

Исследованиями установлено, что для условий «среднесухого» 2014 года начальные влагозапасы почвы ( $W_H$ ) составляли 200 мм и не изменялись по вариантам опыта; в свою очередь конечные влагозапасы ( $W_K$ ) приняли значения 165,

200, 132 и 91 мм соответственно по вариантам опыта. Величина эвапотранспирации ( $ET$ ) изменялась от 315 до 401 мм; коэффициенты водного баланса, характеризующие удельную потребность в оросительной воде для получения тонны продукции ( $K_M$ ) и удельный показатель по эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) приняли значения 10,5, 10,9, 10,3, 16,1 и 7,7, 9,1, 6,6, 8,6 мм соответственно по вариантам опыта.

Таблица 3.12 – Элементы уравнения водного баланса посадок картофеля, средние за годы исследований 2012–2014 гг.

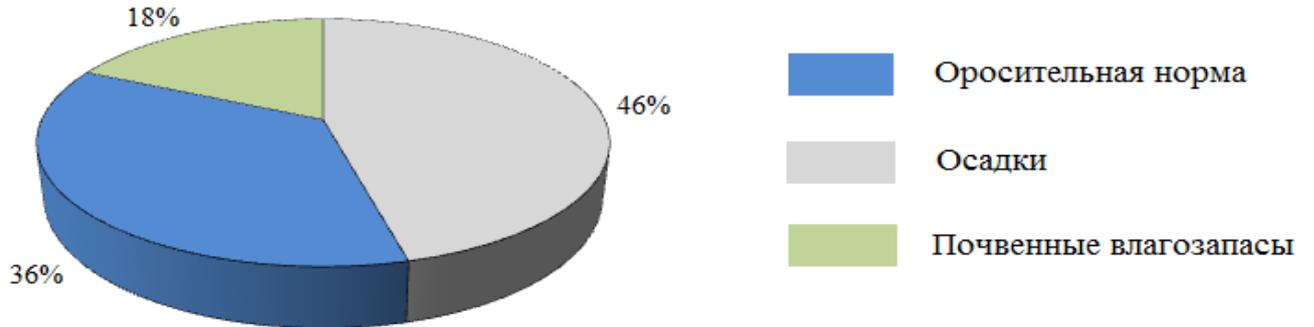
Варианты опыта	Элементы уравнения водного баланса, мм					$У$ т/га	$K_{ET}$ , мм/т	$K_M$ , мм/т
	$W_H$	$P$	$M$	$W_K$	$ET$			
1 «М»	215	117	210	167	375	37,1	10,1	5,7
2 «1,2 М»	215	117	252	186	398	37,4	10,6	6,7
3 «0,8 М»	215	117	168	153	345	35,2	9,8	4,8
4 «0,6 М»	215	117	126	142	306	20,5	15,0	6,1
Среднее	215	117	189	162	356	32,5	10,9	5,8
$\sigma$	–	–	49,04	17,18	35,97	7,32	2,16	0,73
$V$ (%)	–	–	25,95	10,60	10,10	22,48	19,04	12,54
$HCP_{05}$	–	–	31,98	11,21	23,46	3,79	1,11	0,38

Стандартное отклонение ( $\sigma$ ) и наименьшая существенная разница ( $HCP_{05}$ ) для оросительной нормы ( $M$ ) составили 65,39 и 33,90 мм; для конечных влагозапасов ( $W_K$ ) – 42,08 и 21,82 мм; для эвапотранспирации ( $ET$ ) – 33,83 и 17,53 мм; для урожайности ( $У$ ) – 7,32 и 3,79 т/га; для коэффициента эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) – 2,51 и 1,29 мм/т; для коэффициента водного баланса ( $K_M$ ) – 0,99 и 0,50 мм/т. Коэффициент вариации ( $V$ ) для оросительной нормы ( $M$ ) составил 25,95 %; для конечных влагозапасов ( $W_K$ ) – 28,26 %; для эвапотранспирации ( $ET$ ) – 9,36 %; для урожайности ( $У$ ) – 22,37 %; для коэффициента эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) – 19,79 %; для коэффициента водного баланса ( $K_M$ ) – 13,41 %.

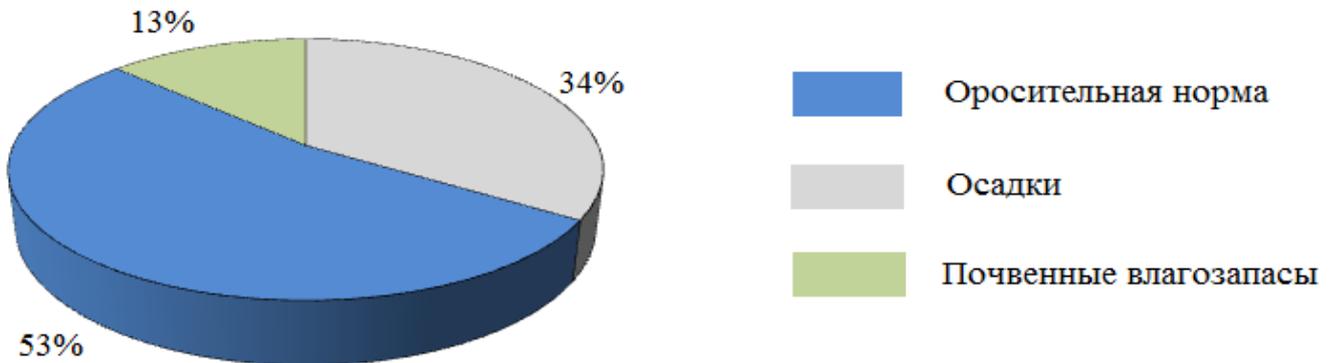
Обобщенными данными за годы исследований для лет различной обеспеченности по дефициту естественного увлажнения установлены значения элементов уравнения водного баланса посадок картофеля, которые составили для величины оросительных норм ( $M$ ) в диапазоне от 126 до 252 мм, со средним значением 162 мм (коэффициент вариации 25,95 %); эвапотранспирации ( $ET$ ) от 306 до 398 мм, со средним значением 356 мм (коэффициент вариации 10,1 %); урожайности ( $У$ ) от 20,5 до 37,4 т/га, со средним значением 32,5 т/га (коэффициент вариации

22,48 %); коэффициента эвапотранспирации ( $K_{ET}$ ) от 15,0 до 10,6 мм/т, со средним значением 10,9 мм/т (коэффициент вариации 19,04 %); коэффициент водного баланса ( $K_M$ ) от 6,7 до 4,8 мм/т, со средним значением 5,8 мм/т (коэффициент вариации 12,54 %).

«Средневлажный» год – 2012



«Средний» год – 2013



«Среднесухой» год – 2014

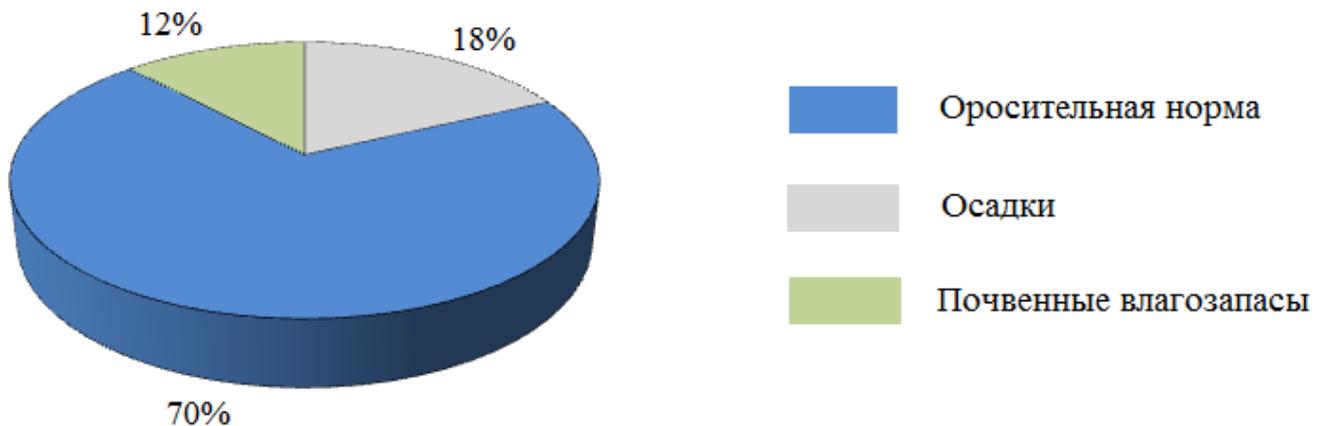


Рисунок 3.10 – Структура водного баланса орошаемого поля картофеля летнего срока посадки за 2012–2014 гг.

Установлены фактические значения элементов водного баланса, которые составили для «средневлажного» года по величине оросительной нормы 36,0 %, осадки – 46,0 %, влагозапасы в расчётном слое почвы – 18 % от общей величины эвапотранспирации; для «среднего» года, соответственно 53,0, 34,0 и 13,0 %; для «среднесухого» года, соответственно 70,0, 18,0 и 12,0 %.

## ВЫВОДЫ

1. Теоретически обоснована необходимость в проведении исследований по совершенствованию имеющихся и разработке новых технологий управления орошением сельскохозяйственных культур.

2. Получены закономерности влияния различных доз минерального питания для характерных лет обеспеченностей и нормативных влагозапасов в расчётном слое почвы по следующим факторам: продолжительности вегетационного периода, площади листовой поверхности, нарастания массы клубней и урожайности картофеля, *установлены:*

- закономерности влияния различных доз минерального питания на продолжительность периода вегетации растений: при повышении дозы внесения минеральных удобрений на 15 и 30 % по отношению к контролю продолжительность вегетации растений увеличивается соответственно на двое и трое суток; при уменьшении доз внесения удобрений на 15, 30 и 45 % продолжительность снижается, соответственно на одни, двое и четверо суток по отношению к контрольному варианту с общим сроком вегетации 71 сутки;

- эмпирические зависимости влияния внесения минеральных удобрений по фазам развития картофеля на динамику формирования площади листовой поверхности растений, которые описываются уравнениями полиномиального вида второй степени с коэффициентами достоверности аппроксимации от  $R^2=0,89$  до  $R^2=0,93$  по всем вариантам опыта. Анализ данных показывает на установленную общую закономерность в течение вегетационного периода связанную с тем, что изменение доз внесения минеральных удобрений, начиная с фазы «бутонизация»,

существенно влияет на динамику формирования площади поверхности листьев картофеля. Так, снижение доз минерального питания на 15, 30 и 45 % от контрольного варианта уменьшает площадь листовой поверхности в среднем за рассматриваемые годы исследований, соответственно: в фазу «бутонизация» – на 3,0, 5,1 и 7,2 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 8,2, 14,0 и 19,8 %); в фазу «цветение» – на 5,0, 9,4 и 14,4 тыс. м<sup>2</sup>/га (9,8, 18,4 и 28,2 %); в фазу «прекращение роста ботвы» – на 5,5, 9,9 и 14,8 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 10,5, 19,0 и 28,3 %); в среднем по всем рассматриваемым фазам роста и развития, соответственно на 6,4, 11,3 и 19,3 %. По основным четырем фазам (кроме фазы «всходы»), соответственно на 7,9, 13,7 и 23,7 %. Повышение доз внесения минеральных удобрений на 15 и 30 % от контрольного варианта увеличивает площадь листовой поверхности в среднем за рассматриваемые годы исследований, соответственно: в фазу «бутонизация» – на 2,0 и 3,9 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 5,5 и 10,7 %); в фазу «цветение» – на 1,8 и 3,9 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 3,5 и 7,6 %); в фазу «прекращение роста ботвы» – на 2,0 и 4,1 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 3,8 и 7,8 %), в среднем по всем периодам развития растений, соответственно на 3,6 и 7,7 %; по основным четырём фазам, соответственно на 4,5 и 8,7 %;

- анализ динамики количественных показателей формирования площади поверхности листьев растений картофеля в течение вегетации по фазам его развития позволил *установить следующие закономерности*: на первом варианте (контроль), увеличение площади листовой поверхности по отношению к фазе «всходы» составили, соответственно, по последующим фазам развития в 5 раз больше, в 10 раз, в 10,2 раза и в 5 раз, причем в фазу «увядание ботвы» площадь листовой поверхности была в два раза меньше предшествующей фазы «прекращение прироста ботвы». При уменьшении доз вносимых минеральных удобрений по всем вариантам опыта площадь листовой поверхности растений картофеля соответственно уменьшалась по каждому варианту и по отношению к контрольному варианту в фазу «всходы» составила в 4,6 раза меньше, чем в фазу «бутонизация»; в 8,6 раз меньше в фазу «цветение»; в 8,8 раза меньше в фазу «прекращение роста ботвы»; в 4,4 раза меньше в фазу «увядание ботвы». Увеличение доз внесения минеральных удобрений по всем вариантам опытов сопровождалась увеличением

площади листовой поверхности, соответственно, по вышеуказанным фазам в среднем в 5,4 раза; в 10,5 раза; 10,6 раза и 5,6 раза. Наибольшая площадь листовой поверхности зафиксирована в фазу «прекращение прироста ботвы» и составила 56,6 тыс. м<sup>2</sup>/га;

- эмпирические зависимости прироста массы клубней картофеля при различных дозах внесения минеральных удобрений, которые описываются уравнениями полиномиального вида второй степени с коэффициентами достоверности аппроксимации от  $R^2=0,97$  до  $R^2=0,99$  по всем вариантам опыта. Анализ данных показывает, что внесение различных доз минеральных удобрений значительно влияет на динамику прироста массы клубней. Снижение доз минерального питания на 15, 30 и 45 % от контрольного варианта уменьшает прирост массы клубней картофеля, в среднем за рассматриваемые годы исследований (2012–2014 гг.): в фазу «бутонизация» на 2,2, 4,8 и 7,3 т/га (или на 11,0, 24,1 и 36,7 %); в фазу «цветение» на 2,7, 6,7 и 11,2 т/га (10,3, 24,9 и 41,6 %); в фазу «прекращение роста ботвы» на 3,3, 7,7 и 13,3 т/га (или на 10,2, 23,9 и 41,3 %); в фазу «увядание ботвы» на 2,2, 8,6 и 14,7 т/га (или на 6,3, 24,8 и 42,5 %); в фазу «техническая спелость» на 2,4, 9,1 и 15,6 т/га (или на 6,6, 25,0 и 42,9 %) соответственно. Повышение доз минерального питания на 15 и 30 % от контрольного варианта увеличивает прирост массы клубней картофеля в среднем за рассматриваемые годы исследований (2012–2014 гг.): в фазу «бутонизация» на 1,1 и 2,7 т/га (или на 5,5 и 13,6 %); в фазу «цветение» на 1,0 и 4,5 т/га (или на 3,7 и 16,8 %); в фазу «прекращение роста ботвы» на 0,6 и 3,8 т/га (или на 1,9 и 11,8 %); в фазу «увядание ботвы» на 1,2 и 4,3 т/га (или на 3,5 и 12,4 %); в фазу «техническая спелость» на 0,8 и 3,4 т/га (или на 2,2 и 9,4 %) соответственно;

- динамика урожайности картофеля от суммарных доз минерального питания с диапазоном их изменения от 228 до 539 кг. д.в./га, которая описывается уравнением степенного вида с коэффициентами достоверности аппроксимации  $R^2=0,97$ . Анализ данных показал, что уменьшение доз минерального питания на 15, 30, 45 % по сравнению с контрольным вариантом, урожайность снижалась, в среднем за годы проведения исследований на 2,4, 9,1 и 15,6 т/га (или на 6,6, 25,0 и

42,9 %) соответственно. При увеличении доз минерального питания на 15 и 30 % урожайность картофеля повышалась, в среднем за годы проведения исследований на 0,8 и 3,4 т/га (или на 2,2 и 9,4 %) соответственно. Этот методологический подход обеспечивает применение полученных закономерностей необходимых параметров для возделывания картофеля летнего срока посадки в условиях лет различной обеспеченности по дефициту естественного увлажнения рассматриваемой зоны орошения.

3. Получены закономерности влияния изменения режима орошения в диапазоне изменения от «1,2 М» до «0,6 М» для лет различной обеспеченности и нормативных влагозапасов в расчётном слое почвы по следующим факторам: продолжительности вегетационных периодов; динамики изменения площадей листовой поверхности; нарастания массы клубней картофеля и урожайности по периодам роста и развития в течение вегетации. В результате проведённых исследований *установлены:*

- закономерности изменения продолжительности вегетационных периодов картофеля в зависимости от изменения оросительных норм. На контрольном варианте поливная норма принята равной расчётной (поливная норма 350 м<sup>3</sup>/га) при изменении запасов влаги в активном корнеобитаемом слое почвы в диапазоне (0,8...1,0) НВ. Анализом установлено, что повышение поливной нормы на 20 % от расчётной обеспечило увеличение продолжительности вегетационного периода на двое суток. Уменьшение норм орошения соответственно на 20 и 40 % привело к сокращению срока вегетации растений по сравнению с контрольным вариантом, соответственно на одни и четверо суток;

- динамика площади листовой поверхности картофеля в течении вегетационных периодов от изменения оросительных норм, которые описываются уравнениями полиномиального вида второй степени с коэффициентами достоверности аппроксимации от  $R^2=0,90$  до  $R^2=0,91$  по всем вариантам опыта. Анализ данных показывает на установленную общую тенденцию в развитии жизненного цикла растений связанную с тем, что изменение оросительных норм, начиная с фазы «бутонизация», существенно влияет на максимальную площадь прироста листо-

вой поверхности картофеля. Понижение поливной нормы на 20 и 40 % от контрольного варианта уменьшает площадь поверхности листьев в среднем за годы исследований: в фазу «бутонизация» на 1,9 и 5,1 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 4,9 и 13,3 %); в фазу «цветение» на 4,6 и 9,4 тыс. м<sup>2</sup>/га (9,0 и 18,4 %); в фазу «прекращение роста ботвы» на 3,6 и 8,9 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 6,9 и 17,0 %) соответственно. Повышение поливной нормы на 20 % от контрольного варианта увеличивает площадь листовой поверхности в среднем за годы исследований: в фазу «бутонизация» на 2,5 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 6,5 %); в фазу «цветение» на 2,1 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 4,1 %); в фазу «прекращение роста ботвы» на 2,6 тыс. м<sup>2</sup>/га (или на 5,0 %);

- динамику прироста массы клубней при изменении оросительных норм для лет различной влагообеспеченности в расчётном слое почвы, описывающиеся уравнениями полиномиального вида второй степени с коэффициентами достоверности аппроксимации от  $R^2=0,97$  до  $R^2=0,98$  по всем вариантам опыта. Снижение оросительной нормы на 20 и 40 % от контрольного варианта уменьшает прирост массы клубней картофеля, в среднем за годы исследований: в фазу «бутонизация» на 0,7 и 6,2 т/га (или на 3,6 и 32,4 %); в фазу «цветение» на 1,8 и 12,0 т/га (или на 6,6 и 43,9 %); в фазу «прекращение роста ботвы» на 2,5 и 14,3 т/га (или на 7,9 и 45,1 %); в фазу «увядание ботвы» на 1,5 и 15,1 т/га (или на 4,3 и 43,8 %); в фазу «техническая спелость» на 1,9 и 16,6 т/га (или на 5,1 и 44,7 %) соответственно. Повышение поливной нормы на 20 % от контрольного варианта увеличивает прирост массы клубней картофеля в среднем за рассматриваемые годы исследований: в фазу «бутонизация» на 0,3 т/га (или на 1,6 %); в фазу «цветение» на 0,5 т/га (или на 1,8 %); в фазу «прекращение роста ботвы» на 0,6 т/га (или на 1,9 %); в фазу «увядание ботвы» на 0,4 т/га (или на 1,2 %); в фазу «техническая спелость» на 0,3 т/га (или на 0,8 %).

4. Изучены и определены закономерности изменения величин элементов уравнения водного баланса орошаемого поля и его структуры, режимов орошения, динамики влажности в активном корнеобитаемом слое почвы для характерных лет обеспеченностей с интервалом изменения норм орошения в «0,2 М», соответственно от «1,2 М» до «0,6 М», *установлены:*

- фактические значения элементов уравнения водного баланса орошаемого поля, которые составили в среднем за годы исследований: оросительная норма изменялась в диапазоне от 252 до 126 мм (162 мм в среднем, коэффициент вариации 25,95 %); эвапотранспирация от 306 до 398 мм (356 мм в среднем, коэффициент вариации 10,1 %); урожайность от 20,5 до 37,1 т/га (32,5 т/га в среднем, коэффициент вариации 22,48 %); коэффициент  $K_E$  от 10,1 до 15,0 мм/т (10,9 мм/т в среднем, коэффициент вариации 19,04 %); коэффициент  $K_M$  от 4,8 до 6,7 мм/т (5,8 мм/т в среднем, коэффициент вариации 12,54 %);

- структура водного баланса орошаемого поля картофеля составила: для «средневлажного» года по величине оросительной нормы 36,0 %, осадков – 46,0 %, влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы – 18 % от общей величины эвапотранспирации; для «среднего» года, соответственно 53,0, 34,0 и 13,0 %; для «среднесухого» года – 70,0, 18,0 и 12,0 %.

- режимы орошения картофеля и динамика изменения влажности в расчетном слое почвы: для условий «средневлажного» года было проведено четыре вегетационных полива: первый – с 25 по 29 июня; второй – с 2 июля по 7 июля; третий – с 20 по 24 июля; четвертый – с 18 по 22 августа. Оросительные нормы по вариантам опытов «М», «1,2 М», «0,8 М» и «0,6 М» составили 140, 168, 112 и 84 мм соответственно. Для «среднего» года было проведено шесть вегетационных поливов: первый – с 23 по 27 июня; второй – с 30 июня по 4 июля; третий – с 10 по 14 июля; четвертый – с 23 по 27 июля; пятый – с 5 по 9 августа; шестой – с 17 по 21 августа. Оросительные нормы по вариантам опыта «М», «1,2 М», «0,8 М» и «0,6 М» составили 210, 252, 168 и 126 мм соответственно. Для «среднесухого» 2014 года было проведено 8 вегетационных поливов: первый – с 22 по 26 июня; второй – с 29 июня по 3 июля; третий – с 8 по 11 июля; четвертый – с 15 по 19 июля; пятый – с 25 по 29 июля; шестой – с 2 по 6 августа; седьмой – с 12 по 16 августа; восьмой – с 23 по 27 августа. Оросительные нормы по вариантам опытов составили 280, 336, 224 и 168 мм соответственно.

## 4 МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ КАРТОФЕЛЯ ЛЕТНЕГО СРОКА ПОСАДКИ

### 4.1 Закономерности влияния гидрометеорологических параметров на динамику изменчивости биоклиматических коэффициентов картофеля

Для повышения точности расчётов необходимо знать вариабельность биоклиматических коэффициентов, изменяющихся во времени в соответствии с динамикой гидрометеорологических факторов и влажности в расчётном слое почвы, а также с обязательным учётом биологических особенностей культур. Поэтому, на основании проведённых многолетних исследований установлены значения испаряемости и суммы дефицитов влажности воздуха, соответствующими биоклиматическими коэффициентами картофеля летнего срока посадки по фазам роста и развития растений в течении вегетационного периода с учётом динамики изменения гидрометеопараметров при изменении режима орошения, основные результаты которых приведены в таблицах 4.1–4.4, Приложении А, таблицы А7–А10.

Приведённые данные были сгруппированы и обработаны соответствующими методами математической статистики (Приложение Б, таблицы Б5–Б8) с целью установления следующих характеристик и их количественной изменчивость по фазам роста и развития картофеля для лет различной обеспеченности: значения биоклиматических коэффициентов ( $K_E$ ) и ( $K_d$ ), потенциальной эвапотранспирации (испаряемости) ( $E_w$ ), суммы дефицитов влажности воздуха ( $\Sigma d$ ); стандартных отклонений ( $S$ ) и коэффициентов вариации ( $V$ ) для биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  за период проведения исследований.

Анализ данных показывает, что для режима орошения поливной нормой  $350 \text{ м}^3/\text{га}$  («1,0 М») средняя величина испаряемости ( $E_w$ ) для лет различной обеспеченности составила, соответственно: в фазу «всходы» – от 122,7 до 144,5 мм; в фазу «бутонизация» – от 253,9 до 292,4 мм; в фазу «цветение» – от 99,5 до 126,3 мм; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 193,0 до 247,0 мм; в фазу «увя-

дание ботвы» – от 192,3 до 246,0 мм; в фазу «техническая спелость» – от 168,6 до 197,3 мм.

Таблица 4.1 – Статистические характеристики изменчивости биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  для различных фаз развития картофеля, при варианте орошения поливной нормой 350 м<sup>3</sup>/га («М»), в среднем за 2012–2014 гг.

Характеристики	Фазы роста и развития					
	«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Прекращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»
Испаряемость $E_w$ , мм	134,1	273,7	113,6	220,6	218,1	180,3
Коэффициент $K_E$	0,31	0,40	0,44	0,36	0,28	0,20
Коэффициент вариации $V$ , %	6,8	6,24	9,25	11,33	10,71	5,0
Стандартное отклонение $S$	0,012	0,014	0,023	0,023	0,017	0,005
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	190,4	397,3	141,2	316,9	276,2	186,4
Коэффициент $K_d$	0,22	0,28	0,35	0,25	0,22	0,19
Коэффициент вариации $V$ , %	18,65	21,56	14,52	22,27	15,72	5,26
Стандартное отклонение $S$	0,023	0,035	0,029	0,032	0,02	0,005

Биоклиматический коэффициент ( $K_E$ ) принял средние значения, соответственно: в фазу «всходы» – от 0,30 до 0,33; в фазу «бутонизация» – от 0,40 до 0,43; в фазу «цветение» – от 0,43 до 0,48; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,35 до 0,40; в фазу «увядание ботвы» – от 0,25 до 0,31; в фазу «техническая спелость» – от 0,19 до 0,21. Сумма дефицитов влажности воздуха ( $\Sigma d$ ) составила в среднем, соответственно: в фазу «всходы» – от 155,7 до 225 мб; в фазу «бутонизация» – от 312 до 474,8 мб; в фазу «цветение» – от 117,3 до 160,3 мб; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 249 до 386 мб; в фазу «увядание ботвы» – от 229,3 до 313,8 мб; в фазу «техническая спелость» – от 177,0 до 196,7 мб. Биоклиматический коэффициент ( $K_d$ ) принял значения, соответственно: в фазу «всходы» – от 0,18 до 0,26; в фазу «бутонизация» – от 0,23 до 0,35; в фазу «цветение» – от 0,31 до 0,41; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,20 до 0,31; в фазу «увядание ботвы» – от 0,19 до 0,26; в фазу «техническая спелость» – от 0,18 до 0,20. Коэффициент вариации ( $V$ ) для биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  составил, соответственно: в

фазу «всходы» – 6,80 и 18,65 %; в фазу «бутонизация» – 6,24 и 21,56 %; в фазу «цветение» – 9,25 и 14,52 %; в фазу «прекращение прироста ботвы» – 11,33 и 22,27 %; в фазу «увядание ботвы» – 10,71 и 15,72 %; в фазу «техническая спелость» – 5,0 и 5,26 %. Стандартное отклонение ( $S$ ) для биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  составил, соответственно: в фазу «всходы» – 0,012 и 0,023; в фазу «бутонизация» – 0,014 и 0,035; в фазу «цветение» – 0,023 и 0,029; в фазу «прекращение прироста ботвы» – 0,023 и 0,032; в фазу «увядание ботвы» – 0,017 и 0,020; в фазу «техническая спелость» – 0,005.

Таблица 4.2 – Статистические характеристики изменчивости биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  для различных фаз развития картофеля, при варианте орошения поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га («1,2 М»), в среднем за 2012–2014 гг.

Характеристики	Фазы роста и развития					
	«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Пре­кращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»
Испаряемость $E_w$ , мм	136,9	276,5	114,5	223,2	220,8	179,3
Коэффициент $K_E$	0,32	0,4	0,46	0,37	0,29	0,21
Коэффициент вариации $V$ , %	7,94	6,97	12,1	12,07	11,97	2,79
Стандартное отклонение $S$	0,014	0,017	0,032	0,026	0,02	0,003
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	200,1	425,9	149,0	326,7	286,5	195,3
Коэффициент $K_d$	0,22	0,29	0,36	0,26	0,23	0,19
Коэффициент вариации $V$ , %	20,19	21,02	16,9	21,41	15,68	5,26
Стандартное отклонение $S$	0,026	0,034	0,034	0,032	0,021	0,005

Анализ данных показывает, что для режима орошения поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га («1,2 М») средняя величина испаряемости ( $E_w$ ) для лет различной водообеспеченности составила, соответственно: в фазу «всходы» – от 126,8 до 148,6 мм; в фазу «бутонизация» – от 255,6 до 298,3 мм; в фазу «цветение» – от 99,6 до 128,1 мм; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 195,7 до 250,6 мм; в фазу «увядание ботвы» – от 195,4 до 250,8 мм; в фазу «техническая спелость» – от 175,2 до 187,0 мм. Биоклиматический коэффициент ( $K_E$ ) принял средние значения, соответственно: в фазу «всходы» – от 0,29 до 0,34; в фазу «бутонизация» – от 0,40

до 0,46; в фазу «цветение» – от 0,41 до 0,52; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,33 до 0,42; в фазу «увядание ботвы» – от 0,26 до 0,33; в фазу «техническая спелость» – от 0,20 до 0,21. Сумма дефицитов влажности воздуха ( $\Sigma d$ ) составила, соответственно в среднем: в фазу «всходы» – от 159,6 до 243,9 мб; в фазу «бутонизация» – от 336,0 до 518,7 мб; в фазу «цветение» – от 123,3 до 175,0 мб; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 256,8 до 393,8 мб; в фазу «увядание ботвы» – от 238,9 до 326,0 мб; в фазу «техническая спелость» – от 184 до 207,7 мб. Биоклиматический коэффициент ( $K_d$ ) принял средние значения, соответственно: в фазу «всходы» – от 0,18 до 0,27; в фазу «бутонизация» – от 0,23 до 0,35; в фазу «цветение» – от 0,30 до 0,42; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,21 до 0,32; в фазу «увядание ботвы» – от 0,20 до 0,27; в фазу «техническая спелость» – от 0,18 до 0,20. Коэффициент вариации ( $V$ ) для биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  составил, соответственно: в фазу «всходы» – 7,94 и 20,19 %; в фазу «бутонизация» – 6,97 и 21,02 %; в фазу «цветение» – 12,1 и 16,9 %; в фазу «прекращение прироста ботвы» – 12,07 и 21,41 %; в фазу «увядание ботвы» – 11,97 и 15,68 %; в фазу «техническая спелость» – 2,79 и 5,26 %. Стандартное отклонение ( $S$ ) для биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  составило в среднем, соответственно: в фазу «всходы» – 0,014 и 0,026; в фазу «бутонизация» – 0,017 и 0,034; в фазу «цветение» – 0,032 и 0,034; в фазу «прекращение прироста ботвы» – 0,026 и 0,032; в фазу «увядание ботвы» – 0,020 и 0,021; в фазу «техническая спелость» – 0,003 и 0,005.

Анализ данных показывает, что для режима орошения поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/га («0,8 М») средняя величина испаряемости ( $E_w$ ) за период проведения исследований составила, соответственно: в фазу «всходы» – от 116,1 до 146,3 мм; в фазу «бутонизация» – от 249,9 до 290,8 мм; в фазу «цветение» – от 99,4 до 124,2 мм; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 188,1 до 245,7 мм; в фазу «увядание ботвы» – от 182,1 до 241,3 мм; в фазу «техническая спелость» – от 155,5 до 189,8 мм. Биоклиматический коэффициент ( $K_E$ ) принял средние значения, соответственно: в фазу «всходы» – от 0,27 до 0,33; в фазу «бутонизация» – от 0,35 до 0,40; в фазу «цветение» – от 0,38 до 0,46; в фазу «прекращение роста ботвы» – от

0,30 до 0,38; в фазу «увядание ботвы» – от 0,23 до 0,29; в фазу «техническая спелость» – от 0,17 до 0,20.

Таблица 4.3 – Статистические характеристики изменчивости биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  для различных фаз развития картофеля, при варианте орошения поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/га («0,8 М»), в среднем за 2012–2014 гг.

Характеристики	Фазы роста и развития					
	«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Прекращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»
Испаряемость $E_w$ , мм	132,4	271,1	112,4	218,2	213,8	173,8
Коэффициент $K_E$	0,30	0,37	0,42	0,34	0,26	0,18
Коэффициент вариации $V$ , %	10,3	6,74	9,7	12,0	11,9	8,33
Стандартное отклонение $S$	0,017	0,014	0,023	0,023	0,017	0,008
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	186,3	381,6	137,6	303,5	264,0	179,6
Коэффициент $K_d$	0,21	0,27	0,34	0,25	0,21	0,17
Коэффициент вариации $V$ , %	16,46	22,35	14,94	20,4	17,17	3,26
Стандартное отклонение $S$	0,02	0,035	0,029	0,029	0,021	0,003

Сумма дефицитов влажности воздуха ( $\Sigma d$ ) составила, соответственно в среднем: в фазу «всходы» – от 153,2 до 219,4 мб; в фазу «бутонизация» – от 292,9 до 462,7 мб; в фазу «цветение» – от 114,2 до 157,3 мб; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 238,3 до 368,5 мб; в фазу «увядание ботвы» – от 211,2 до 308,3 мб; в фазу «техническая спелость» – от 172,7 до 190,0 мб. Биоклиматический коэффициент ( $K_d$ ) принял средние значения, соответственно: в фазу «всходы» – от 0,18 до 0,25; в фазу «бутонизация» – от 0,22 до 0,34; в фазу «цветение» – от 0,30 до 0,40; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,20 до 0,30; в фазу «увядание ботвы» – от 0,18 до 0,25; в фазу «техническая спелость» – от 0,17 до 0,18. Коэффициент вариации ( $V$ ) для биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  составил в среднем, соответственно: в фазу «всходы» – 10,3 и 16,46 %; в фазу «бутонизация» – 6,74 и 22,35 %; в фазу «цветение» – 9,7 и 14,94 %; в фазу «прекращение прироста ботвы» – 12,0 и 20,4 %; в фазу «увядание ботвы» – 11,9 и 17,17 %; в фазу «техническая спелость» – 8,33 и 3,26 %. Стандартное отклонение ( $S$ ) для биоклиматиче-

ских коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  составило в среднем, соответственно: в фазу «всходы» – 0,017 и 0,02; в фазу «бутонизация» – 0,014 и 0,035; в фазу «цветение» – 0,023 и 0,029; в фазу «прекращение прироста ботвы» – 0,023 и 0,029; в фазу «увядание ботвы» – 0,017 и 0,021; в фазу «техническая спелость» – 0,008 и 0,003.

Таблица 4.4 – Статистические характеристики изменчивости биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  для различных фаз развития картофеля, при варианте орошения поливной нормой 210 м<sup>3</sup>/га («0,6 М»), в среднем за 2012–2014 гг.

Характеристики	Фазы роста и развития					
	«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Пре­краще­ние прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»
Испаряемость $E_w$ , мм	129,5	253,1	109,4	203,5	189,9	157,3
Коэффициент $K_E$	0,27	0,35	0,38	0,3	0,27	0,18
Коэффициент вариации $V$ , %	7,8	7,06	9,16	8,82	3,7	3,15
Стандартное отклонение $S$	0,012	0,014	0,02	0,015	0,005	0,003
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	178,0	362,1	130,9	281,9	261,8	172,8
Коэффициент $K_d$	0,20	0,26	0,32	0,22	0,20	0,16
Коэффициент вариации $V$ , %	15,53	22,15	15,26	22,98	18,03	3,46
Стандартное отклонение $S$	0,017	0,032	0,028	0,029	0,021	0,003

Анализ данных показывает, что для режима орошения поливной нормой 210 м<sup>3</sup>/га («0,6 М») средняя величина испаряемости ( $E_w$ ) за годы проведения исследований составила, соответственно: в фазу «всходы» – от 114,8 до 141,6 мм; в фазу «бутонизация» – от 233,4 до 277,2 мм; в фазу «цветение» – от 97,4 до 122,3 мм; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 179,1 до 222,8 мм; в фазу «увядание ботвы» – от 180,7 до 200,0 мм; в фазу «техническая спелость» – от 144,2 до 171,7 мм. Биоклиматический коэффициент ( $K_E$ ) принял средние значения, соответственно: в фазу «всходы» – от 0,25 до 0,29; в фазу «бутонизация» – от 0,33 до 0,38; в фазу «цветение» – от 0,35 до 0,42; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,28 до 0,33; в фазу «увядание ботвы» – от 0,26 до 0,28; в фазу «техническая спелость» – от 0,18 до 0,19. Сумма дефицитов влажности воздуха ( $\Sigma d$ ) составила в

среднем, соответственно: в фазу «всходы» – от 144,8 до 208,2 мб; в фазу «бутонизация» – от 277,1 до 435,7 мб; в фазу «цветение» – от 107,6 до 147,5 мб; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 211,0 до 346,7 мб; в фазу «увядание ботвы» – от 210,8 до 305,8 мб; в фазу «техническая спелость» – от 161,1 до 181,7 мб. Биоклиматический коэффициент ( $K_d$ ) принял средние значения, соответственно: в фазу «всходы» – от 0,17 до 0,23; в фазу «бутонизация» – от 0,21 до 0,32; в фазу «цветение» – от 0,29 до 0,38; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,18 до 0,28; в фазу «увядание ботвы» – от 0,17 до 0,24; в фазу «техническая спелость» – от 0,16 до 0,17. Коэффициент вариации ( $V$ ) для биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  составил, соответственно: в фазу «всходы» – 7,8 и 15,53 %; в фазу «бутонизация» – 7,06 и 22,15 %; в фазу «цветение» – 9,16 и 15,26 %; в фазу «прекращение прироста ботвы» – 8,82 и 22,98 %; в фазу «увядание ботвы» – 3,7 и 18,03 %; в фазу «техническая спелость» – 3,15 и 3,46 %. Стандартное отклонение ( $S$ ) для биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  составило, соответственно: в фазу «всходы» – 0,012 и 0,017; в фазу «бутонизация» – 0,014 и 0,032; в фазу «цветение» – 0,02 и 0,028; в фазу «прекращение прироста ботвы» – 0,015 и 0,029; в фазу «увядание ботвы» – 0,005 и 0,021; в фазу «техническая спелость» – 0,003 и 0,003.

В результате проведённых исследований получены эмпирические зависимости биоклиматического коэффициента  $K_E$  от суммы накопленных активных температур воздуха ( $\sum t_A$ ) для лет характерных обеспеченностей по дефициту естественного увлажнения (рисунок 4.1), которые описываются уравнениями полиномиального вида (формулы 4.1–4.4). Для варианта орошения поливной нормой 350 м<sup>3</sup>/га зависимость имеет вид:

$$K_E = -0,4 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 8,58 \cdot 10^{-4} \cdot \sum t_A; \quad R^2 = 0,84, \quad (4.1)$$

где  $K_E$  – биоклиматический коэффициент;  $\sum t_A$  – сумма накопленных активных температур воздуха за период вегетации растений картофеля, °С.  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га:

$$K_E = -0,4 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 9,65 \cdot 10^{-4} \cdot \sum t_A, \quad R^2 = 0,85, \quad (4.2)$$

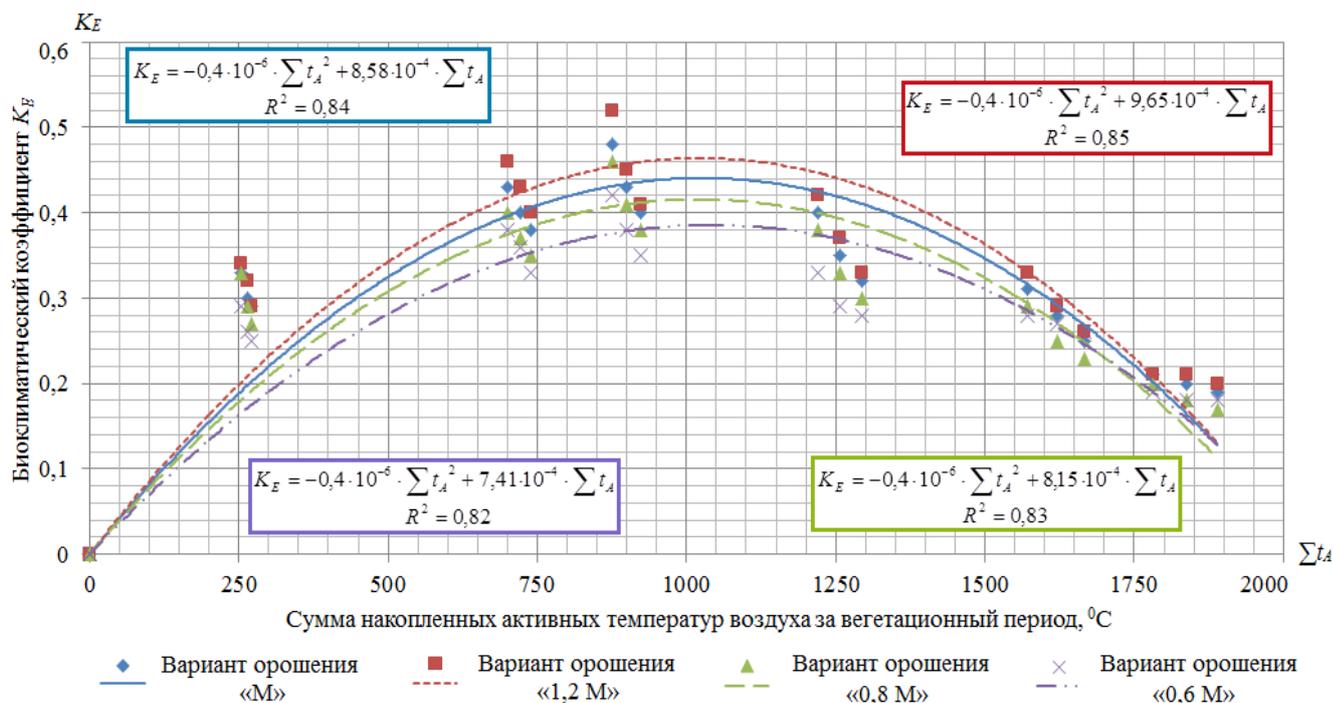


Рисунок 4.1 – Динамика изменения биоклиматических коэффициентов  $K_E$  от суммы накопленных температур воздуха за вегетационный период для различных режимов орошения

Поливной нормой  $280 \text{ м}^3/\text{га}$ :

$$K_E = -0,4 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 8,15 \cdot 10^{-4} \cdot \sum t_A; \quad R^2 = 0,83, \quad (4.3)$$

Поливной нормой  $210 \text{ м}^3/\text{га}$ :

$$K_E = -0,4 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 7,41 \cdot 10^{-4} \cdot \sum t_A, \quad R^2 = 0,82, \quad (4.4)$$

В настоящее время имеются модели В. П. Остапчика, Н. М. Хими́на, С. И. Харченко, А. Р. Константинова и других, которые дают возможность оценивать влияния влажности в расчётном слое почвы на динамику соотношения эвапотранспирации с гидрометеорологическими характеристиками. Следует отметить, что в работах ряда других авторов изменение эвапотранспирации принимается прямопропорциональным изменению влагозапасов в почве по всем фазам развития растений в течение вегетационного периода. Такой методический подход не учитывает важного фактора – динамики влажности почвы на формирование биомассы и урожайности сельскохозяйственных культур и интенсивности эвапотранспирации во времени в зависимости от конкретно складывающихся метеопараметров текущего года. В общем виде эмпирическая зависимость влияния биоклиматического коэффициента на величину фактических влагозапасов поса-

док картофеля по фазам развития растений представлена формулой 4.5 (Г. В. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко [168, 231]):

$$K_{\omega} = \frac{ET}{E_{\omega}} = f\left(\frac{W_H + W_K}{2 \cdot W_{HB}}\right), \quad (4.5)$$

где  $K_{\omega}$  – биоклиматический коэффициент;  $ET$  – эвапотранспирация орошаемого поля, мм;  $E_{\omega}$  – потенциальная эвапотранспирация, за величину которой принимается испаряемость с водной поверхности, определенная по испаромеру ГГИ–3000, мм (таблица 4.5; Приложение А, таблица А11);  $W_H$ ,  $W_K$ ,  $W_{HB}$  – влагозапасы в расчётном слое почвы, соответственно: начальные, конечные и при влажности, соответствующей наименьшей влагоёмкости.

Таблица 4.5 – Величина потенциальной эвапотранспирации по фазам роста и развития растений картофеля в среднем за годы исследований

В мм.

Показатель	Фазы роста и развития					
	«Всходы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Прекращение прироста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»
Потенциальная эвапотранспирация, $E_{\omega}$	66,30	135,65	168,33	109,38	107,92	89,77

В результате проведённых исследований получены зависимости биоклиматических коэффициентов ( $K_{\omega}$ ) от величин влагозапасов ( $W_0$ ) в корнеобитаемом слое почвы для всех фаз роста и развития картофеля, выраженных в относительных единицах в среднем для лет характерных обеспеченностей по дефициту естественного увлажнения (рисунки 4.2–4.4.), описываемые полиномиальными зависимостями второй степени (формулы 4.6–4.11).

В фазу «всходы» зависимость имеет вид:

$$K_{\omega} = -0,114 \cdot W_0^2 + 1,747 \cdot W_0 + 0,025; \quad R^2 = 0,98, \quad (4.6)$$

где  $K_{\omega}$  – биоклиматический коэффициент;  $W_0$  – влагозапасы в расчётном слое почвы, выраженные в относительных величинах.  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

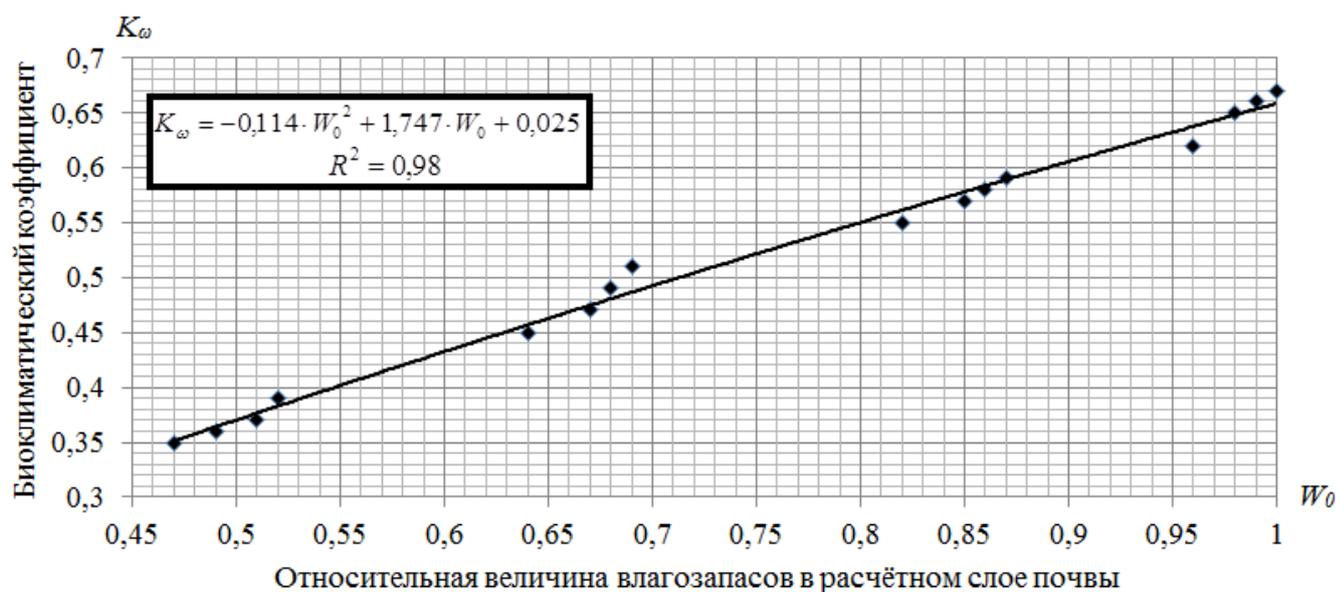


Рисунок 4.2 – Динамика изменения средних величин биоклиматического коэффициента  $K_{\omega}$  в фазу «всходы»

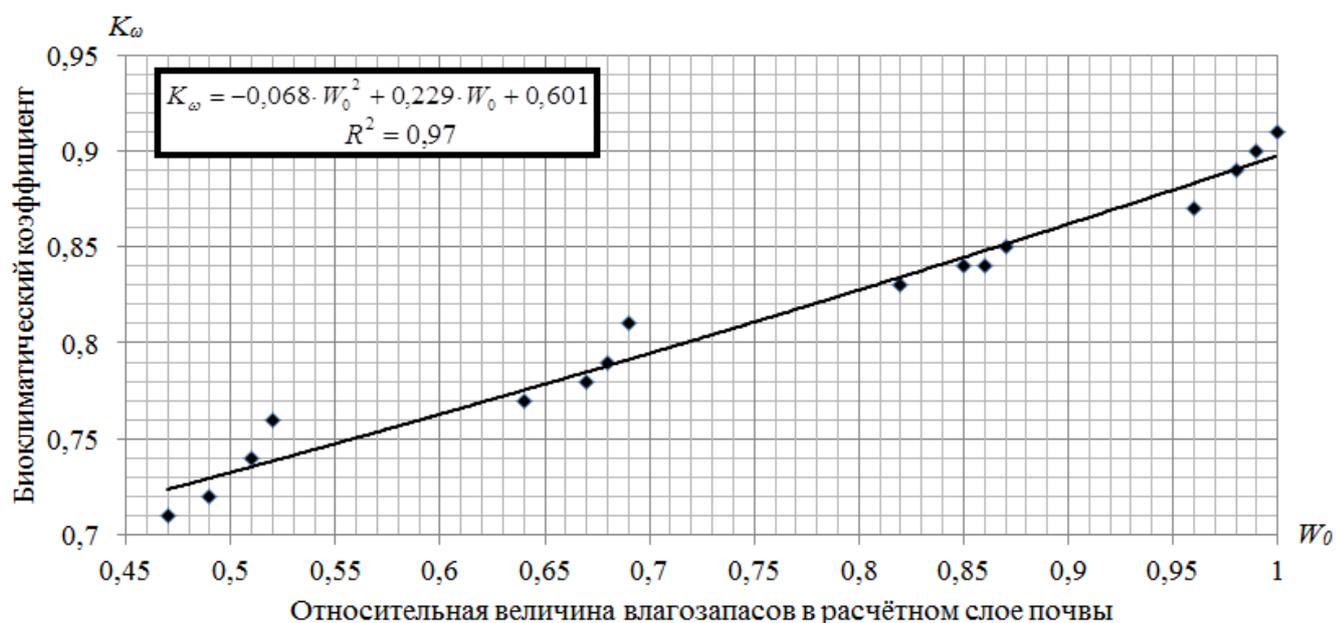


Рисунок 4.3 – Динамика изменения средних величин биоклиматического коэффициента  $K_{\omega}$  в фазу «бутонизация»

В фазу «бутонизация»:

$$K_{\omega} = -0,068 \cdot W_0^2 + 0,229 \cdot W_0 + 0,601; \quad R^2 = 0,97, \quad (4.7)$$

В фазу «цветение»:

$$K_{\omega} = -0,082 \cdot W_0^2 + 0,605 \cdot W_0 + 0,672; \quad R^2 = 0,99, \quad (4.8)$$

В фазу «прекращение роста ботвы»:

$$K_{\omega} = -0,073 \cdot W_0^2 + 0,550 \cdot W_0 + 1,395; \quad R^2 = 0,97, \quad (4.9)$$

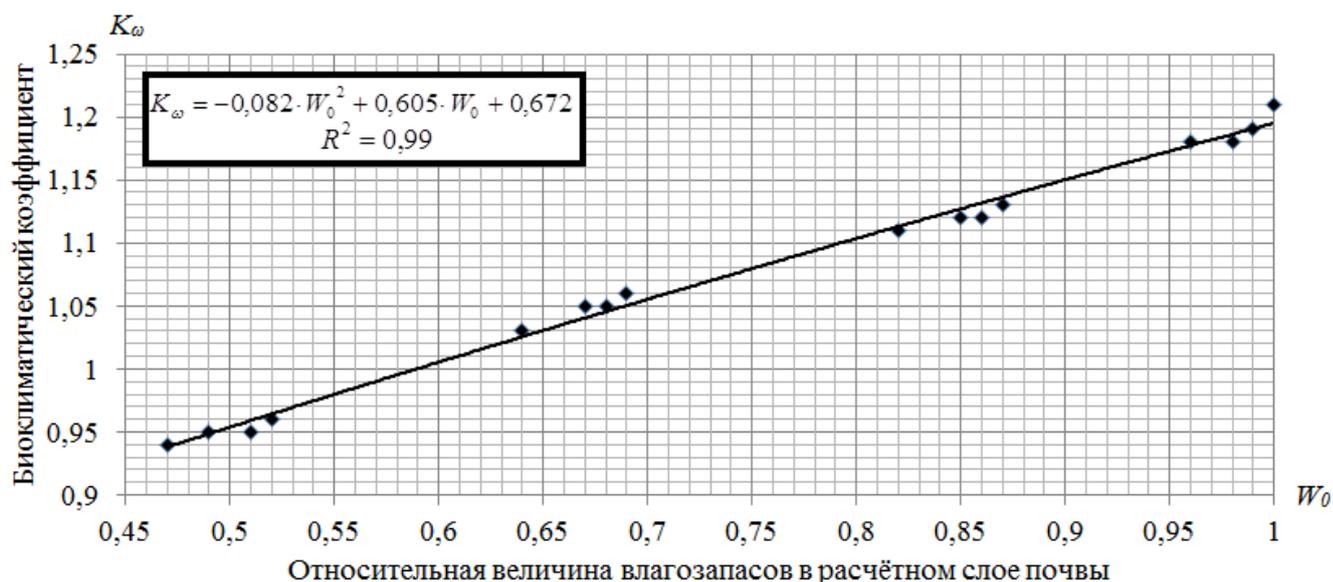


Рисунок 4.4 – Динамика изменения средних величин биоклиматического коэффициента  $K_{\omega}$  в фазу «цветение»

В фазу «увядание ботвы»:

$$K_{\omega} = -0,295 \cdot W_0^2 + 0,741 \cdot W_0 + 1,027; \quad R^2 = 0,96, \quad (4.10)$$

В фазу «техническая спелость»:

$$K_{\omega} = -0,027 \cdot W_0^2 + 0,181 \cdot W_0 + 0,645; \quad R^2 = 0,92, \quad (4.11)$$

## 4.2 Эмпирические зависимости эвапотранспирации и урожайности картофеля от гидрометеорологических факторов и влажности почвы для лет различной обеспеченности

Проведённые исследования обеспечили получение эмпирических зависимостей эвапотранспирации ( $ET$ ) от фактической урожайности ( $V_{\phi}$ ) как для условий планируемой обеспеченности (рисунок 4.5), так и осреднённые за весь период проведения опытов которые в общем виде имеют степенную взаимосвязь (формулы 4.12–4.15).

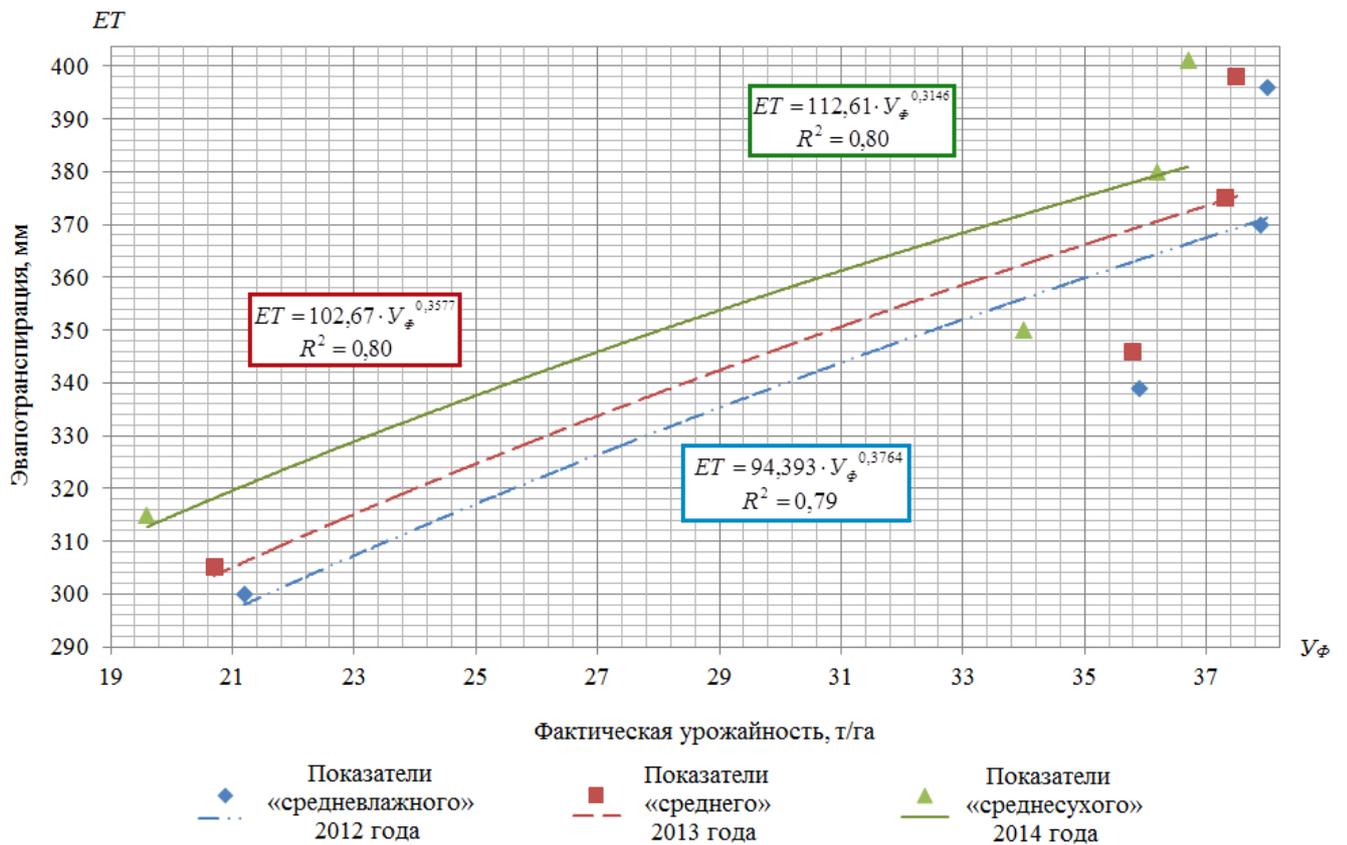


Рисунок 4.5 – Динамики эвапотранспирации от урожайности картофеля, за 2012–2014 гг.

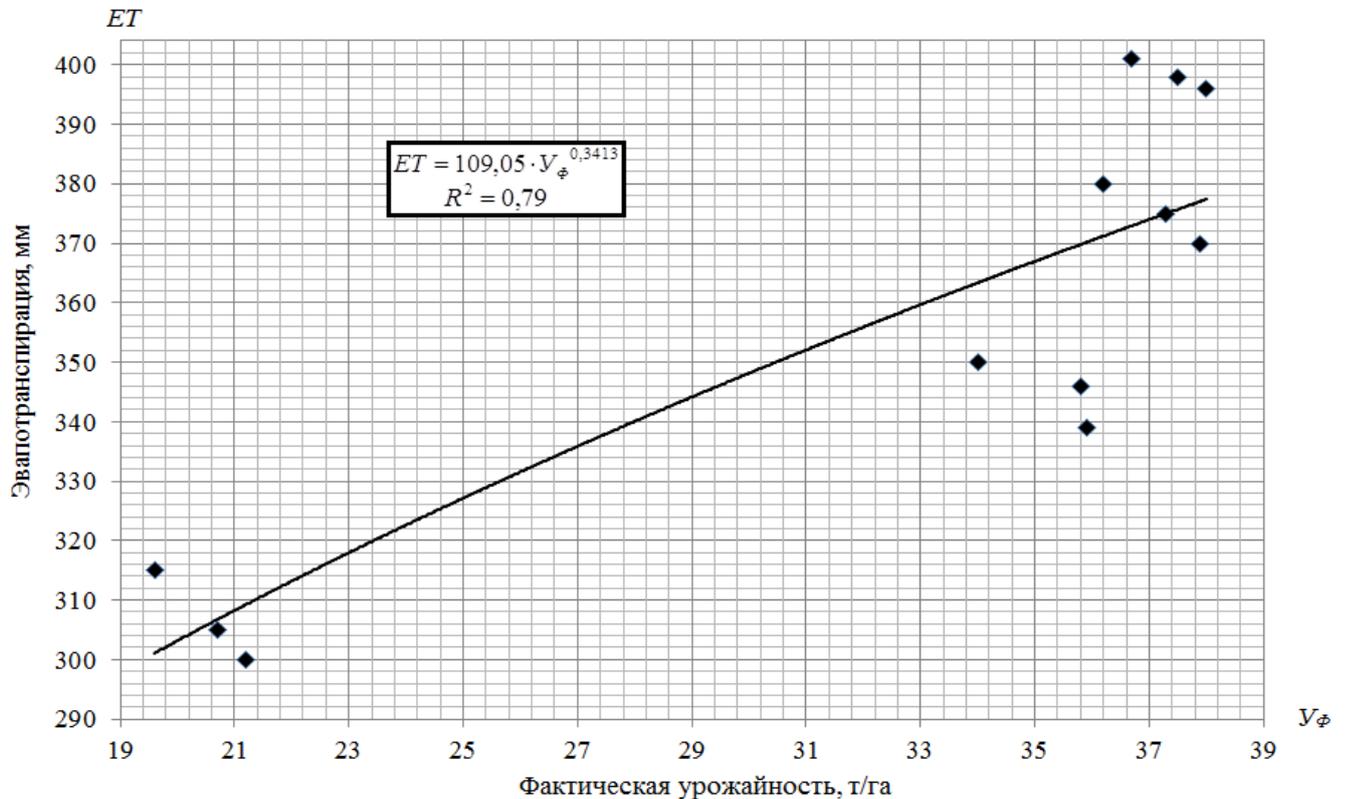


Рисунок 4.6 – Динамика изменения эвапотранспирации от урожайности картофеля в среднем за годы исследований

Для «средневлажного» года:

$$ET = 94,393 \cdot Y_{\phi}^{0,376}; \quad R^2 = 0,79, \quad (4.12)$$

где  $ET$  – величина эвапотранспирации, мм;  $Y_{\phi}$  – фактическая урожайность картофеля, т/га;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Для «среднего» года:

$$ET = 102,67 \cdot Y_{\phi}^{0,358}; \quad R^2 = 0,80, \quad (4.13)$$

Для «среднесухого» года:

$$ET = 112,61 \cdot Y_{\phi}^{0,315}; \quad R^2 = 0,80, \quad (4.14)$$

В среднем за годы исследований:

$$ET = 109,05 \cdot Y_{\phi}^{0,341}; \quad R^2 = 0,79, \quad (4.15)$$

В результате проведённых исследований получены также зависимости коэффициента водного баланса ( $K_M$ ) от значений нормы орошения ( $M_0$ ) для лет характерных обеспеченностей, которые представлены в относительных величинах на рисунке 4.7 и описываются уравнениями полиномиального вида второй степени (формулы 4.16–4.18).

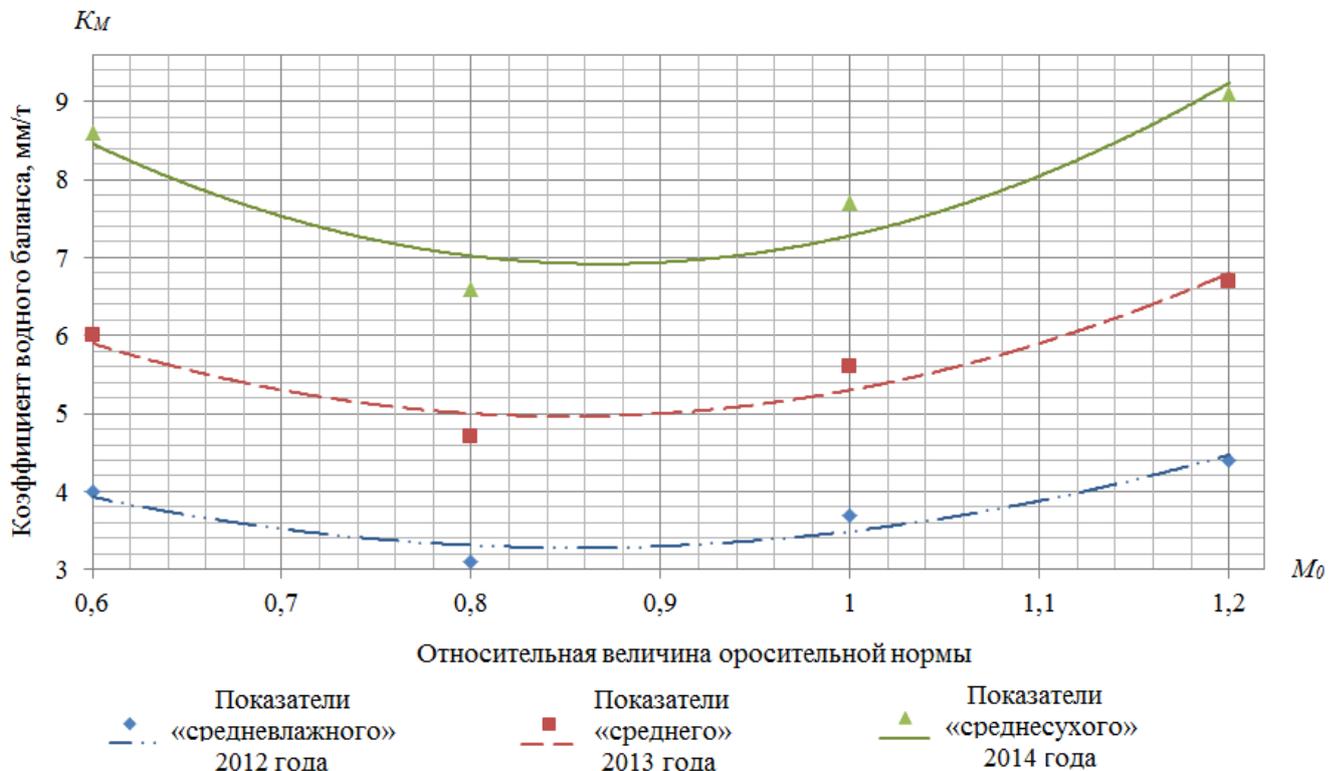


Рисунок 4.7 – Динамика коэффициентов водного баланса от изменения поливной нормы за 2012–2014 гг.

Для «средневлажного» года:

$$K_M = 10,0 \cdot M_0^2 - 17,1 \cdot M_0 + 10,59; \quad R^2 = 0,89, \quad (4.16)$$

где  $K_M$  – коэффициент водного баланса, мм/т;  $M_0$  – показатель представленный отношением  $M_0 = M_\phi / M_{HB}$ ;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Для «среднего» года:

$$K_M = 15,0 \cdot M_0^2 - 25,5 \cdot M_0 + 15,8; \quad R^2 = 0,90, \quad (4.17)$$

Для «среднесухого» года:

$$K_M = 21,25 \cdot M_0^2 - 36,95 \cdot M_0 + 22,98; \quad R^2 = 0,89, \quad (4.18)$$

Анализ данных показывает, что коэффициент водного баланса, то есть удельный расход оросительной воды, необходимый для получения одной тонны продукции, имеет общую динамику изменения от изменения норм орошения для каждого года при различной обеспеченности дефицита естественного увлажнения.

Получены также зависимости фактической урожайности ( $Y_\phi$ ) от изменения оросительной нормы, выраженных в относительных величинах ( $M_0$ ) как для каждого года проведения опытов, так и осреднённые (рисунки 4.8 и 4.9). Кроме этого, установлены эмпирические взаимосвязи урожайности ( $Y_0$ ) от динамики норм орошения, выраженной в относительных координатах ( $M_0$ ) (рисунок 4.10), которые описываются уравнениями полиномиального вида второй степени (формулы 4.19–4.23). Для «средневлажного» года зависимость имеет вид:

$$Y_\phi = -91,25 \cdot M_0^2 + 190,45 \cdot M_0 - 59,68; \quad R^2 = 0,90, \quad (4.19)$$

где  $Y_\phi$  – фактическая урожайность картофеля, т/га;  $M_0$  – показатель относительной оросительной нормы;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Для «среднего» года:

$$Y_\phi = -93,125 \cdot M_0^2 - 193,58 \cdot M_0 + 61,305; \quad R^2 = 0,91, \quad (4.20)$$

Для «среднесухого» года:

$$Y_\phi = -86,875 \cdot M_0^2 + 183,13 \cdot M_0 - 58,475, \quad R^2 = 0,93, \quad (4.21)$$

В среднем за годы исследований:

$$Y_{\phi} = -90,417 \cdot M_0^2 + 189,05 \cdot M_0 - 59,82, \quad R^2 = 0,87, \quad (4.22)$$

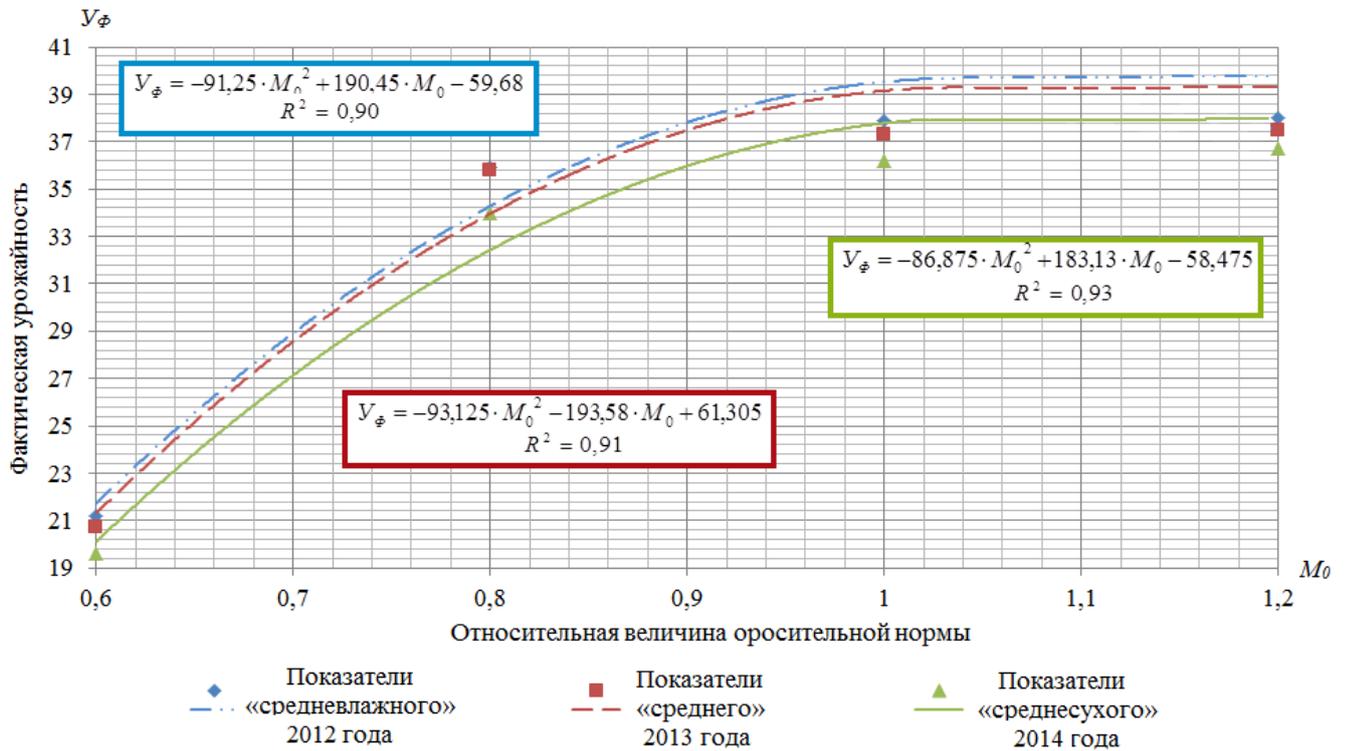


Рисунок 4.8 – Динамика урожайности картофеля при изменении оросительной нормы за 2012–2014 гг.

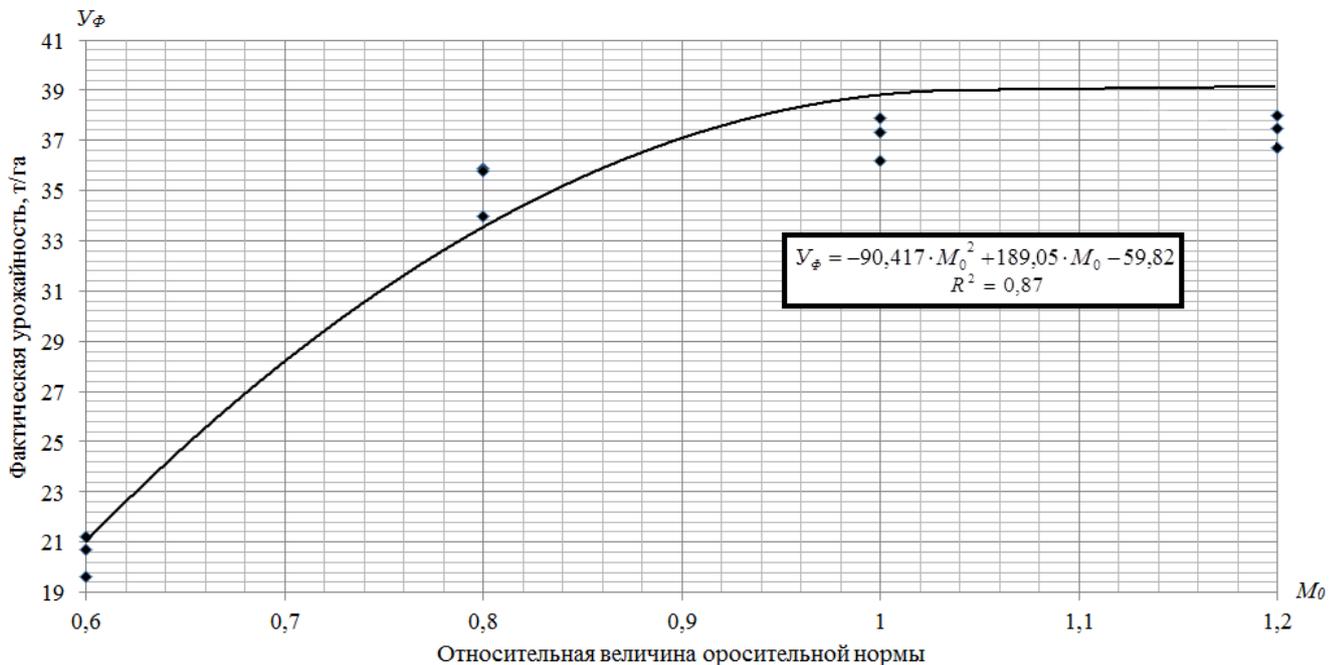


Рисунок 4.9 – Динамика урожайности картофеля при изменении оросительной нормы в среднем за 2012–2014 гг.

В относительных координатах:

$$Y_0 = -2,4312 \cdot M_0^2 + 2,0857 \cdot M_0 - 1,6091, \quad R^2 = 0,92, \quad (4.23)$$

где  $Y_0$  – показатель, определяемый по соотношению:  $Y_0 = Y_{\phi} / Y_{HB}$ .

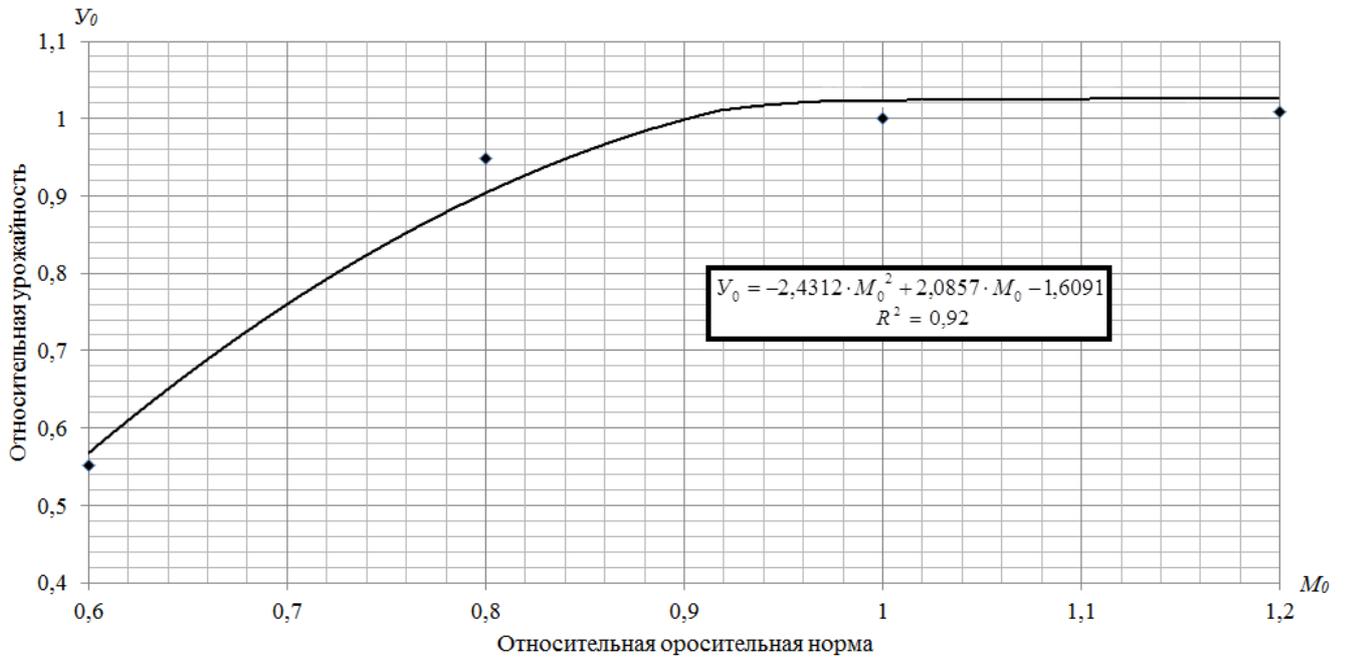


Рисунок 4.10 –Динамика прироста урожайности картофеля от изменения оросительной нормы выраженной в относительных величинах в среднем за 2012–2014 гг.

Проведенные экспериментальные исследования по установлению среднесуточного водопотребления картофеля по фазам роста и развития при изменении режима орошения для лет характерных обеспеченностей по дефициту естественного увлажнения, позволили установить закономерности влияния гидрометеорологических условий на суточную эвапотранспирацию картофеля (таблицы 4.6–4.9; Приложение А, таблицы А12–А15).

Анализ данных показал, что для режима орошения поливной нормой 350 м<sup>3</sup>/га («М») сумма накопленных активных температур воздуха для лет различной водообеспеченности составила, соответственно: в фазу «всходы» – от 253 до 271 °С; в фазу «бутонизация» – от 448 до 469 °С; в фазу «цветение» – от 175 до 183 °С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 345 до 371 °С; в фазу «увядание ботвы» – от 351 до 372 °С; в фазу «техническая спелость» от 209 до 223 °С. Среднесуточная температура: в фазу «всходы» – от 25,3 до 27,1 °С; в фазу «бутонизация» – от 24,9 до 26,0 °С; в фазу «цветение» – от 25,0 до 26,1 °С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 24,6 до 26,5 °С; в фазу «увядание ботвы» – от 27,0 до 28,6 °С; в фазу «техническая спелость» от 23,2 до 24,8 °С. Среднесуточная эвапотранспирация: в фазу «всходы» – от 4,05 до 4,19 мм/сут; в фазу «бутонизация» –

от 6,06 до 6,17 мм/сут; в фазу «цветение» – от 6,87 до 7,21 мм/сут; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 5,51 до 5,59 мм/сут; в фазу «увядание ботвы» – от 4,58 до 4,73 мм/сут; в фазу «техническая спелость» – от 3,93 до 4,08 мм/сут. Среднесуточная эвапотранспирация, рассчитанная на один градус накопленной температуры воздуха составила соответственно: в фазу «всходы» – от 0,154 до 0,160 мм/°С; в фазу «бутонизация» – от 0,237 до 0,244 мм/°С; в фазу «цветение» – от 0,275 до 0,278 мм/°С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,211 до 0,224 мм/°С; в фазу «увядание ботвы» – от 0,166 до 0,170 мм/°С; в фазу «техническая спелость» от 0,164 до 0,169 мм/°С.

Таблица 4.6 – Среднесуточная эвапотранспирация поля картофеля по фазам роста и развития, при варианте орошения поливной нормой 350 м<sup>3</sup>/га («М»), в среднем за 2012–2014 гг.

Фазы вегетации	Продолжительность фазы, сут.	Сумма температур, °С	Среднесуточная температура за фазу, °С	Эвапотранспирация за фазу		Среднесуточная эвапотранспирация, мм/сут
				мм	На 1 °С, мм/°С	
«Всходы»	10	263	26,3	41	0,157	41,2
«Бутонизация»	18	458	25,4	110	0,241	110,2
«Цветение»	7	179	25,6	49	0,276	49,4
«Прекращение роста ботвы»	14	358	25,6	78	0,217	77,7
«Увядание ботвы»	13	362	27,8	62	0,168	60,5
«Техническая спелость»	9	200	22,2	35	0,165	36,0

Анализ данных показал, что для режима орошения поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га («1,2 М») среднесуточная эвапотранспирация для лет различной водобеспеченности составила соответственно: в фазу «всходы» – от 4,31 до 4,39 мм/сут; в фазу «бутонизация» – от 6,28 до 6,19 мм/сут; в фазу «цветение» – от 7,40 до 7,50 мм/сут; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 5,87 до 5,91 мм/сут; в фазу «увядание ботвы» – от 4,60 до 4,66 мм/сут; в фазу «техническая спелость» – от 4,08 до 4,15 мм/сут. Среднесуточная эвапотранспирация, рассчитанная на один градус накопленной температуры воздуха составила соответственно: в фазу «всходы» – от 0,162 до 0,170 мм/°С; в фазу «бутонизация» – от

0,232 до 0,245 мм/°С; в фазу «цветение» – от 0,278 до 0,294 мм/°С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,209 до 0,234 мм/°С; в фазу «увядание ботвы» – от 0,160 до 0,178 мм/°С; в фазу «техническая спелость» от 0,195 до 0,205 мм/°С.

Таблица 4.7 – Среднесуточная эвапотранспирация поля картофеля по фазам роста и развития, при варианте орошения поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га («1,2 М»), в среднем за 2012–2014 гг.

Фазы вегетации	Продолжительность фазы, сут.	Сумма температур, °С	Среднесуточная температура за фазу, °С	Эвапотранспирация за фазу		Среднесуточная эвапотранспирация, мм/сут
				мм	На 1 °С, мм/°С	
«Всходы»	10	263	26,3	43,4	0,165	4,34
«Бутонизация»	19	496	26,1	118,5	0,239	6,23
«Цветение»	7	183	26,1	52,1	0,285	7,45
«Прекращение роста ботвы»	14	377	26,9	82,4	0,219	5,89
«Увядание ботвы»	14	388	27,7	64,8	0,167	4,63
«Техническая спелость»	9	184	20,5	37,0	0,200	4,11

Сумма накопленных активных температур воздуха составила соответственно: в фазу «всходы» – от 253 до 271 °С; в фазу «бутонизация» – от 479 до 515 °С; в фазу «цветение» – от 176 до 189 °С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 351 до 396 °С; в фазу «увядание ботвы» – от 361 до 407 °С; в фазу «техническая спелость» от 179 до 191 °С. Среднесуточная температура составила соответственно: в фазу «всходы» – от 25,3 до 27,1 °С; в фазу «бутонизация» – от 25,2 до 27,1 °С; в фазу «цветение» – от 25,1 до 27,0 °С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 25,1 до 28,3 °С; в фазу «увядание ботвы» – от 25,8 до 29,1 °С; в фазу «техническая спелость» от 19,9 до 21,2 °С.

Анализ данных показал, что для режима орошения поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/га («0,8 М») среднесуточная эвапотранспирация для лет различной водобеспеченности составила соответственно: в фазу «всходы» – от 3,83 до 3,95 мм/сут; в фазу «бутонизация» – от 5,53 до 5,65 мм/сут; в фазу «цветение» – от 6,53 до 6,74 мм/сут; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 5,50 до 5,67 мм/сут; в фазу «увядание ботвы» – от 4,06 до 4,27 мм/сут; в фазу «техниче-

ская спелость» – от 3,45 до 3,59 мм/сут. Среднесуточная эвапотранспирация, рассчитанная на один градус накопленной температуры воздуха составила соответственно: в фазу «всходы» – от 0,146 до 0,151 мм/°С; в фазу «бутонизация» – от 0,217 до 0,222 мм/°С; в фазу «цветение» – от 0,258 до 0,261 мм/°С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,211 до 0,221 мм/°С; в фазу «увядание ботвы» – от 0,147 до 0,148 мм/°С; в фазу «техническая спелость» от 0,143 до 0,147 мм/°С. Сумма накопленных активных температур воздуха составила соответственно: в фазу «всходы» – от 253 до 271 °С; в фазу «бутонизация» – от 479 до 515 °С; в фазу «цветение» – от 176 до 189 °С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 324 до 349 °С; в фазу «увядание ботвы» – от 356 до 374 °С; в фазу «техническая спелость» от 211 до 225 °С. Среднесуточная температура составила соответственно: в фазу «всходы» – от 25,3 до 27,1 °С; в фазу «бутонизация» – от 25,2 до 27,1 °С; в фазу «цветение» – от 25,1 до 27,0 °С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 24,9 до 26,8 °С; в фазу «увядание ботвы» – от 27,4 до 28,8 °С; в фазу «техническая спелость» от 23,4 до 25,0 °С.

Таблица 4.8 – Среднесуточная эвапотранспирация поля картофеля по фазам роста и развития, при варианте орошения поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/га («0,8 М»), в среднем за 2012–2014 гг.

Фазы вегетации	Продолжительность фазы, сут.	Сумма температур, °С	Среднесуточная температура за фазу, °С	Эвапотранспирация за фазу		Среднесуточная эвапотранспирация, мм/сут
				мм	На 1 °С, мм/°С	
«Всходы»	10	263	26,3	39,0	0,148	3,90
«Бутонизация»	18	458	25,4	100,9	0,220	5,60
«Цветение»	7	179	25,6	46,5	0,260	6,64
«Прекращение роста ботвы»	13	338	25,9	72,7	0,215	5,59
«Увядание ботвы»	13	366	28,2	54,3	0,147	4,17
«Техническая спелость»	9	218	24,2	31,7	0,145	3,52

Таблица 4.9 – Среднесуточная эвапотранспирация поля картофеля по фазам роста и развития, при варианте орошения поливной нормой 210 м<sup>3</sup>/га («0,6 М»), в среднем за 2012–2014 гг.

Фазы вегетации	Продолжительность фазы, сут.	Сумма температур, °С	Среднесуточная температура за фазу, °С	Эвапотранспирация за фазу		Среднесуточная эвапотранспирация, мм/сут
				мм	На 1 °С, мм/°С	
«Всходы»	10	263	26,3	34,4	0,130	3,44
«Бутонизация»	17	441	26,6	89,9	0,218	5,29
«Цветение»	7	177	25,3	41,7	0,235	5,95
«Прекращение роста ботвы»	12	307	25,8	60,7	0,197	5,05
«Увядание ботвы»	12	326	26,6	51,2	0,161	4,27
«Техническая спелость»	9	224	25,3	28,8	0,128	3,20

Анализ данных показал, что для режима орошения поливной нормой 210 м<sup>3</sup>/га («0,6 М») среднесуточная эвапотранспирация за рассматриваемые годы исследований составила соответственно: в фазу «всходы» – от 3,33 до 3,54 мм/сут; в фазу «бутонизация» – от 4,93 до 5,08 мм/сут; в фазу «цветение» – от 5,84 до 6,11 мм/сут; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 4,92 до 5,20 мм/сут; в фазу «увядание ботвы» – от 4,22 до 4,33 мм/сут; в фазу «техническая спелость» – от 3,04 до 3,43 мм/сут. Среднесуточная эвапотранспирация, рассчитанная на один градус накопленной температуры воздуха составила соответственно: в фазу «всходы» – от 0,129 до 0,131 мм/°С; в фазу «бутонизация» – от 0,195 до 0,254 мм/°С; в фазу «цветение» – от 0,234 до 0,236 мм/°С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 0,192 до 0,203 мм/°С; в фазу «увядание ботвы» – от 0,150 до 0,174 мм/°С; в фазу «техническая спелость» от 0,122 до 0,125 мм/°С.

Сумма накопленных активных температур воздуха составила соответственно: в фазу «всходы» – от 253 до 271 °С; в фазу «бутонизация» – от 423 до 469 °С; в фазу «цветение» – от 174 до 181 °С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 291 до 324 °С; в фазу «увядание ботвы» – от 310 до 345 °С; в фазу «техническая спелость» от 220 до 247 °С. Среднесуточная температура составила соответственно: в фазу «всходы» – от 25,3 до 27,1 °С; в фазу «бутонизация» – от 25,4 до 27,6 °С; в фазу «цветение» – от 24,9 до 25,8 °С; в фазу «прекращение роста ботвы» – от 24,8

до 27,0 °С; в фазу «увядание ботвы» – от 24,2 до 28,7 °С; в фазу «техническая спелость» от 25,8 до 27,3 °С.

Эмпирические зависимости динамики изменения среднесуточной эвапотранспирации ( $ET_{сут}$ ) в зависимости от суммы накопленных активных температур воздуха ( $\sum t_A$ ) за вегетационный период при различных режимах орошения для лет различной водообеспеченности представлены на рисунке 4.11, которые характеризуются уравнениями полиномиального вида второй степени (формулы 4.24–4.27):

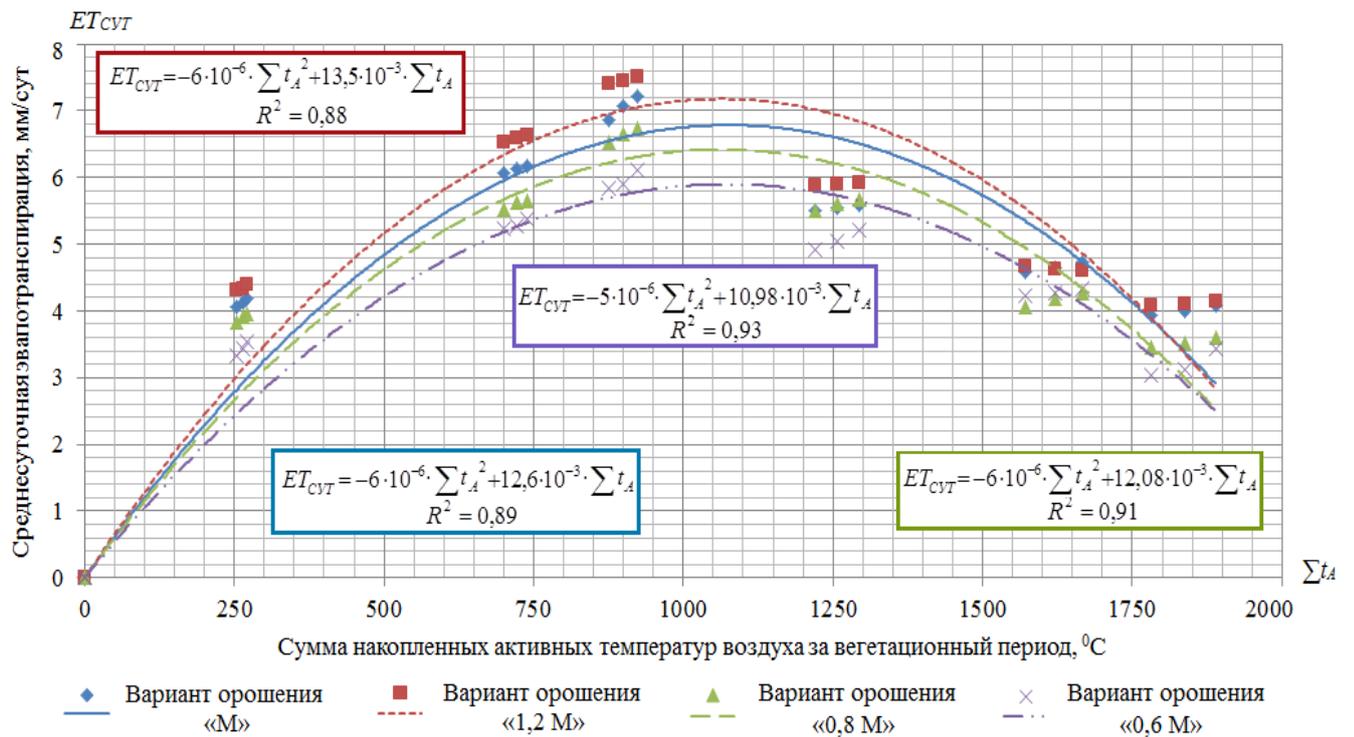


Рисунок 4.10 – Динамика изменения среднесуточной эвапотранспирации в зависимости от суммы накопленных активных температур за вегетационный период

Для режима орошения нормой 350 м<sup>3</sup>/га («М») имеет вид:

$$ET_{сут} = -6 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 12,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sum t_A; \quad R^2 = 0,89 \quad , \quad (4.24)$$

где  $ET_{сут}$  – среднесуточная эвапотранспирация, мм;  $\sum t_A$  – сумма накопленных активных температур воздуха за рассматриваемый вегетационный период (от посадки и до технической спелости культуры), °С;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га («1,2 М»):

$$ET_{CVT} = -6 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 13,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sum t_A; \quad R^2 = 0,88 \quad , \quad (4.25)$$

Поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/га («0,8 М»):

$$ET_{CVT} = -6 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 12,08 \cdot 10^{-3} \cdot \sum t_A; \quad R^2 = 0,91 \quad , \quad (4.26)$$

Поливной нормой 210 м<sup>3</sup>/га («0,6 М»):

$$ET_{CVT} = -5 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 10,98 \cdot 10^{-3} \cdot \sum t_A; \quad R^2 = 0,93 \quad , \quad (4.27)$$

Эмпирические зависимости динамики изменения эвапотранспирации, рассчитанной на один градус накопленной температуры воздуха ( $ET_t$ ) в зависимости от продолжительности вегетационного периода ( $T_{B.П.}$ ) при различных режимах орошения за рассматриваемые годы исследований представлены на рисунке 4.12, которые характеризуются уравнениями полиномиального вида второй степени (формулы 4.28–4.31).

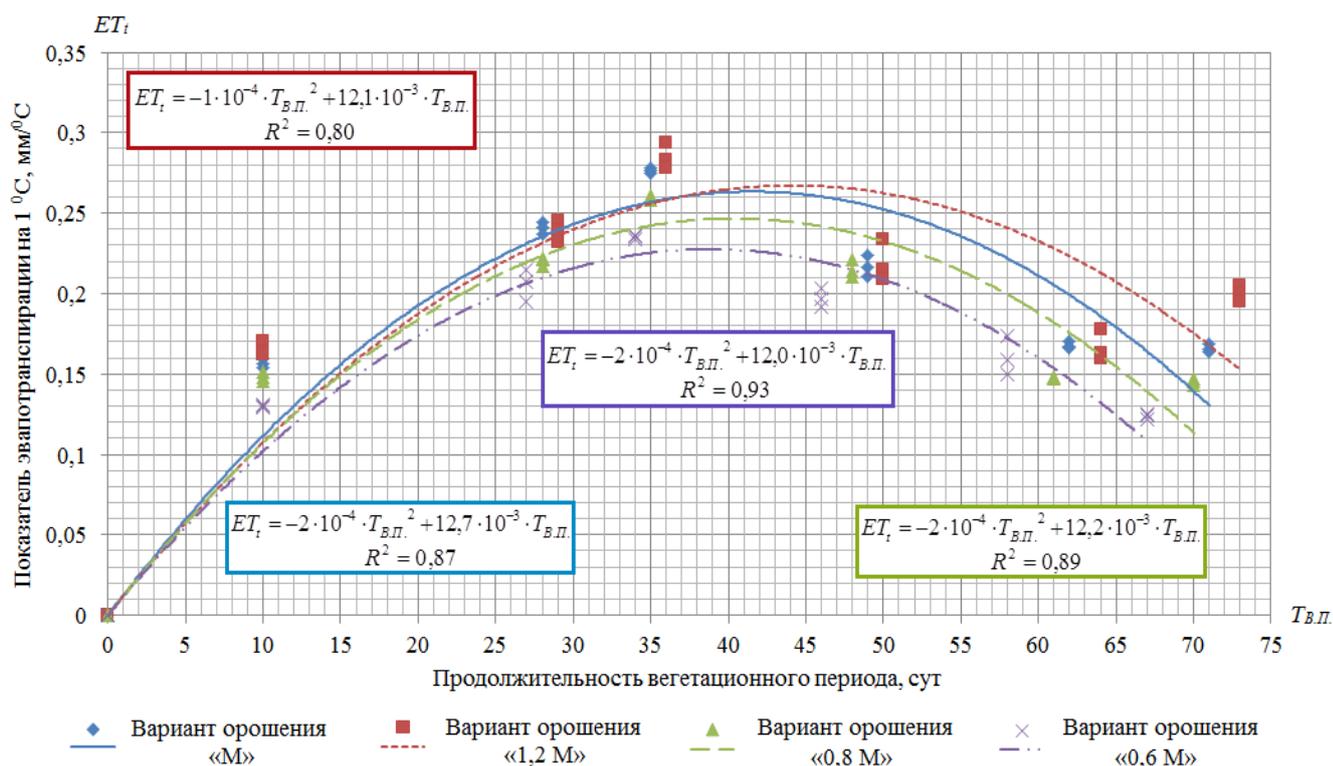


Рисунок 4.11 – Динамика изменения эвапотранспирации на 1 °C накопленной активной температуры за вегетационный период

Для режима орошения поливной нормой 350 м<sup>3</sup>/га («М») имеет вид:

$$ET_t = -2 \cdot 10^{-4} \cdot T_{B.П.}^2 + 12,7 \cdot 10^{-3} \cdot T_{B.П.}; \quad R^2 = 0,87 \quad , \quad (4.28)$$

где  $ET_t$  – показатель эвапотранспирации в расчете на 1 °C накопленной температуры, мм/°C;  $T_{B.П.}$  – продолжительность вегетационного периода культуры (от

посадки и до технической спелости культуры), сут;  $R^2$  – коэффициент достоверности аппроксимации.

Поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га («1,2 М»):

$$ET_t = -1 \cdot 10^{-4} \cdot T_{B.II.}^2 + 12,1 \cdot 10^{-3} \cdot T_{B.II.}; \quad R^2 = 0,80 \quad , \quad (4.29)$$

Поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/га («0,8 М»):

$$ET_t = -2 \cdot 10^{-4} \cdot T_{B.II.}^2 + 12,2 \cdot 10^{-3} \cdot T_{B.II.}; \quad R^2 = 0,89 \quad , \quad (4.30)$$

Поливной нормой 210 м<sup>3</sup>/га («0,6 М»):

$$ET_t = -2 \cdot 10^{-4} \cdot T_{B.II.}^2 + 12,0 \cdot 10^{-3} \cdot T_{B.II.}; \quad R^2 = 0,93 \quad , \quad (4.31)$$

#### **4.3 Совершенствование метода расчёта водопотребления и аппарата управления орошением картофеля на основе динамики изменения гидрометеопараметров**

Возделывание картофеля производится на базе установления информации об агроклиматических характеристиках района орошения, почвенных влагозапасов, величине оросительной нормы, биологических особенностей растений с учётом фаз развития и других показателей.

Фактическая величина эвапотранспирации картофеля ( $ET$ ) устанавливалась путём определения элементов уравнения водного баланса поля орошения по зависимости (формула 4.32):

$$ET = K_E \cdot E_\omega \cdot K_0, \quad (4.32)$$

где  $ET$  – эвапотранспирация, мм;  $K_E$  – биоклиматический коэффициент;  $E_\omega$  – потенциальная эвапотранспирация, величина которой получена по данным метеостанции, мм;  $K_0$  – микроклиматический коэффициент, принимается равным 0,87 для конкретных почвенно-климатических условий поймы Нижнего Дона.

Биоклиматические коэффициенты картофеля определяются по эмпирическим уравнениям автора в зависимости от биологических особенностей растений картофеля изменяющихся по фазам его развития и влияния фактических влагозапасов в расчётном слое почвы, имеющие общий вид (формула 4.33):

$$K_{\omega} = A_1 \cdot \left( \frac{W_H + W_K}{2 \cdot W_{HB}} \right)^2 + A_2 \cdot \left( \frac{W_H + W_K}{2 \cdot W_{HB}} \right) + A_0, \quad (4.33)$$

где  $K_{\omega}$  – биоклиматический коэффициент;  $A_1, A_2, A_0$  – параметры уравнения;  $W_H, W_K, W_{HB}$  – влагозапасы в расчётном слое почвы, соответственно: начальные, конечные и при влажности, соответствующей наименьшей влагоёмкости.

Параметры уравнения 4.33 для различных фаз роста и развития растений картофеля приведены в Приложении Г, таблице Г1.

Для повышения точности определения расчёта величины эвапотранспирации орошаемого поля следует использовать величины отклонений фактических значений метеопараметров от их средне многолетних значений (формула 4.34):

$$\Delta ET = f(\Delta t; \Delta r; \Delta P; \Delta E_{\omega}), \quad (4.34)$$

где  $ET$  – эвапотранспирация, мм;  $t$  – среднесуточная температура, °С;  $r$  – относительная влажность воздуха, %;  $P$  – осадки, мм;  $E_{\omega}$  – потенциальная эвапотранспирация.

Отклонения потенциальной эвапотранспирации и эвапотранспирации от их средне многолетних значений по данным соответствующих метеостанций и экспериментальных данных определяются соответствующими модульными коэффициентами (формулы 4.35, 4.36):

$$K_{\Delta E} = \frac{E_{\omega}}{E_{\omega}}, \quad (4.35)$$

$$K_{\Delta ET} = \frac{ET}{ET}, \quad (4.36)$$

где  $K_{\Delta E}$  и  $K_{\Delta ET}$  – модульные коэффициенты отклонений значений потенциальной эвапотранспирации и эвапотранспирации;  $ET$  и  $E_{\omega}$  – фактические значения эвапотранспирации и потенциальной эвапотранспирации, величины которой получены по данным метеостанции и транспирации, мм;  $\overline{ET}$ ,  $\overline{E_{\omega}}$  – средне многолетние значения потенциальной эвапотранспирации и эвапотранспирации, мм.

На основании анализа экспериментальных и средне многолетних данных получена нелинейная зависимость относительных отклонений эвапотранспирации от

потенциальной эвапотранспирации (рисунок 4.12), которая описывается уравнением полиномиального вида второй степени (формула 4.37):

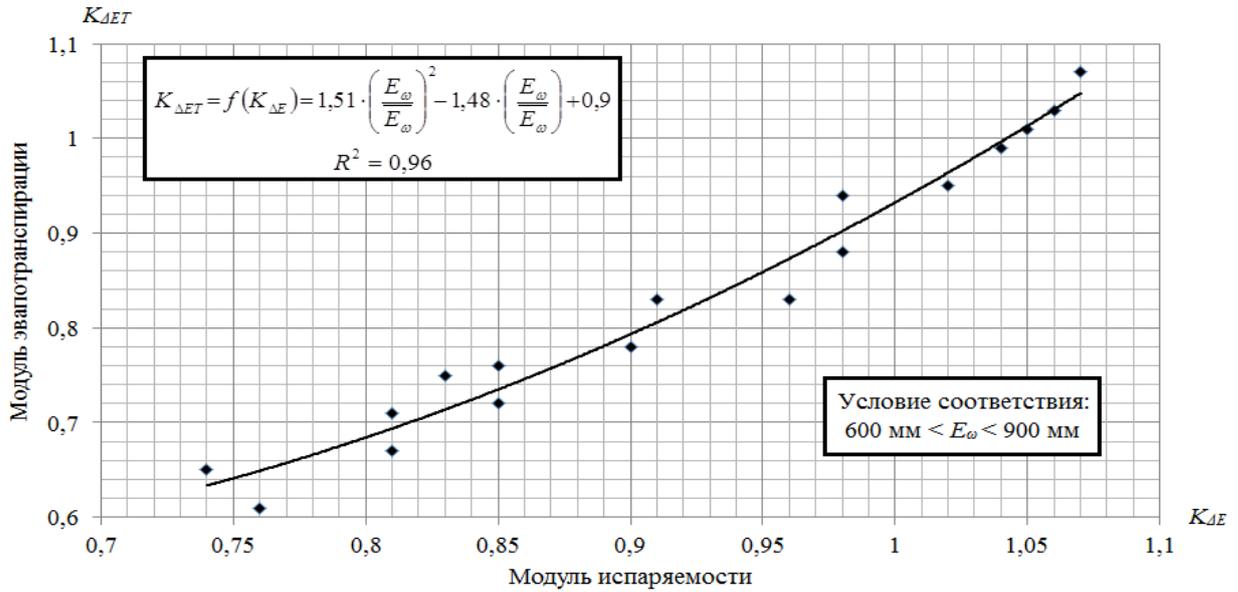


Рисунок 4.12 – Динамики изменения относительных отклонений эвапотранспирации от величин потенциальной эвапотранспирации

$$K_{\Delta ET} = f(K_{\Delta E}) = 1,51 \cdot \left( \frac{E_{\omega}}{E_{\omega}} \right)^2 - 1,48 \cdot \left( \frac{E_{\omega}}{E_{\omega}} \right) + 0,9; \quad R^2 = 0,96, \quad (4.37)$$

Для определения величины эвапотранспирации во времени на севооборотном участке устанавливается испаромер ГГИ–3000, показания которого сравниваются с соответствующими данными ближайшей метеостанции. При отсутствии испаромеров величина потенциальной эвапотранспирации определяется по модифицированной автором модели В. П. Остапчика (формула 4.38):

$$E_{\omega} = A \cdot (d_{\varphi})^{b \cdot t}, \quad (4.38)$$

$d_{\varphi}$  – дефицит влажности воздуха, мб;  $t$  – температура воздуха, °С;  $A, b$  – эмпирические параметры полученные автором для условий поймы Нижнего Дона.  $A = 1,22; b = 0,003; R^2 = 0,84$ .

При наличии близко залегающих грунтовых вод величина их влияния определяется по адаптированной модели Харченко С. И. (формула 4.39):

$$V_{gr} = \frac{E_{\omega}}{e^{p \cdot H}}, \quad (4.39)$$

где  $V_{gr}$  – величина расхода грунтовых вод, мм;  $E_{\omega}$  – потенциальная эвапотранспирация, мм;  $p$  – параметр для данного типа почв, определённый по данным таблицы 4.10;  $H$  – глубина залегания грунтовых вод, м.

Таблица 4.10 – Изменения параметра « $p$ » в течении вегетации

Сумма активных температур, °С	0–400	400–800	800–1200	1200–1600	1600–2000	2000–2400
Параметр « $p$ »	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,9

Величина пополнения грунтовых вод за счёт инфильтрации атмосферных осадков и оросительных вод определяется по региональному уравнению Ольгаренко Г. В. и уточнённом автором (формула 4.40):

$$V_{\varphi} = -1,07 + 0,041 \cdot (m + P) + 1,44 \cdot \frac{\omega}{\omega_{HB}} - 0,012 \cdot E_{\omega}, \quad (4.40)$$

Условие соответствия уравнения:  $0,4 < (m+P) < 7,0$ ;  $0,5 < \omega \cdot (\overline{\omega_{HB}})^{-1} < 1,1$ ;  $1,0 < H < 3,0$ ;  $0,7 < E_{\omega} < 6,5$ .

где  $(m+P)$  – объём воды, включающий величины норм орошения и осадков, мм;  $\overline{\omega_{HB}}$  – фактическая величина влажности почвы и влажность почвы, соответствующая НВ, %;  $H$  – глубина залегания уровня грунтовых вод, м;  $E_{\omega}$  – потенциальная эвапотранспирация, мм.

Математическая обработка данных полевых исследований позволила установить дополнительные параметры для регулирования процесса орошения и улучшения методики управления орошением:

- эмпирические зависимости динамики прироста площади поверхности листьев картофеля от продолжительности вегетационного периода при изменении оросительных норм:

$$S_{л.о.} = f(T_{в.п.}) = A_1 \cdot T_{в.п.}^2 + A_2 \cdot T_{в.п.} + A_0, \quad (4.41)$$

где  $S_{л.о.}$  – площадь поверхности листьев при изменении режима орошения, тыс. м<sup>2</sup>/га;  $T_{в.п.}$  – продолжительность вегетационного периода, начиная с фазы «посадка» и до фазы «прекращение прироста ботвы», сут;  $A_1, A_2, A_0$  – параметры уравнения. Параметры уравнения 4.41 приведены в Приложении Г, таблице Г2.

- эмпирические зависимости динамики прироста массы клубней картофеля от продолжительности вегетационного периода при изменении оросительной нормы:

$$Y_{\phi} = f(T_{B.П.}) = A_1 \cdot T_{B.П.}^2 + A_2 \cdot T_{B.П.} + A_0, \quad (4.42)$$

где  $Y_{\phi}$  – фактическая урожайность картофеля, т/га;  $T_{B.П.}$  – продолжительность вегетационного периода, начиная с фазы «бутонизация» и до фазы «техническая спелость», сут;  $A_1, A_2, A_0$  – параметры уравнения. Параметры уравнения 4.42 приведены в Приложении Г, таблице Г3.

- эмпирические зависимости динамики прироста массы клубней картофеля от продолжительности вегетационного периода и изменении доз минерального питания, при нормативной влагообеспеченности корнеобитаемого слоя почвы:

$$Y_{Д} = f(T_{B.П.}) = A_1 \cdot T_{B.П.}^2 + A_2 \cdot T_{B.П.} + A_0, \quad (4.43)$$

$$Y_{Д} = f(\sum NPK) = A_1 \cdot \sum NPK^{A_2}, \quad (4.44)$$

где  $Y_{Д}$  – урожайность картофеля при внесении соответствующих уровней доз минерального питания, т/га;  $T_{B.П.}$  – продолжительность вегетационного периода, начиная с фазы «бутонизация» и до фазы «техническая спелость», сут;  $\sum NPK$  – суммарная доза удобрений, кг д.в./га;  $A_1, A_2, A_0$  – параметры уравнения. Параметры уравнений 4.43 и 4.44 приведены в Приложении Г, таблице Г4.

- эмпирические зависимости динамики прироста поверхности листьев от продолжительности вегетационного периода при изменении доз внесения минерального питания в условиях нормативной влагообеспеченности:

$$S_{Л.Д.} = f(T_{B.П.}) = A_1 \cdot T_{B.П.}^2 + A_2 \cdot T_{B.П.} + A_0, \quad (4.45)$$

где  $S_{Л.Д.}$  – площадь поверхности листьев при изменении доз минерального питания, тыс. м<sup>2</sup>/га;  $T_{B.П.}$  – продолжительность вегетационного периода, начиная с фазы «посадка» и до фазы «прекращение прироста ботвы», сут;  $A_1, A_2, A_0$  – параметры уравнения. Параметры уравнения 4.45 приведены в Приложении Г, таблице Г5.

- эмпирические зависимости эвапотранспирации ( $ET$ ) от фактической урожайности ( $Y_{\phi}$ ) для лет характерных обеспеченностей (формула 4.46):

$$ET = f(Y_{\phi}) = 94,393 \cdot Y_{\phi}^{0,376}, R^2 = 0,79, \quad (4.46)$$

где  $ET$  – эвапотранспирация, мм;  $Y_{\phi}$  – фактическая урожайность, т/га.

- эмпирические зависимости урожайности ( $Y_{\phi}$ ) и их удельных значений ( $Y_0$ ) от изменения оросительной нормы, выраженных в относительных координатах ( $M_0$ ) для лет характерных обеспеченностей (формулы 4.47, 4.48):

$$Y_{\phi} = f(M_0) = -86,875 \cdot M_0^2 + 183,13 \cdot M_0 - 58,475; R^2 = 0,96, \quad (4.47)$$

$$Y_0 = f(M_0) = -2,4312 \cdot M_0^2 + 2,0857 \cdot M_0 - 1,6091; R^2 = 0,96, \quad (4.48)$$

где  $Y_{\phi}$  – фактическая урожайность картофеля, т/га;  $Y_0$  – показатель, определяемый по зависимости:  $Y_0 = Y_{\phi}/Y_{HB}$ ;  $M_0$  – показатель, определяемый по зависимости  $M_0 = M_{\phi}/M_{HB}$ ;

- эмпирические зависимости динамики изменения среднесуточной эвапотранспирации ( $ET_{CVT}$ ) в зависимости от суммы накопленных активных температур воздуха ( $\sum t_A$ ) за вегетационный период при изменении оросительной нормы для лет характерной водообеспеченности:

$$ET_{CVT} = f(\sum t_A) = A_1 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + A_2 \cdot 10^{-3} \cdot \sum t_A + A_0, \quad (4.49)$$

где  $ET_{CVT}$  – среднесуточная эвапотранспирация, мм;  $\sum t_A$  – сумма накопленных активных температур воздуха за рассматриваемый вегетационный период (от посадки и до технической спелости культуры),  $^{\circ}\text{C}$ .  $A_1, A_2, A_0$  – параметры уравнения. Параметры уравнения 4.49 приведены в Приложении Г, таблице Гб.

Проведённый ретроспективный анализ методов расчёта величины потенциальной эвапотранспирации показал, что модель Н. И. Иванова имеет коэффициент корреляции равный – 0,68. Расчёты по модифицированной формуле В. П. Остапчика – 0,87. Так, увеличение точности расчёта величины потенциальной эвапотранспирации по модифицированной формуле В. П. Остапчика составляет более 15 %, а вместе с использованием формулы (4.37), которая обеспечивает приращение величин потенциальной эвапотранспирации и эвапотранспирации к их среднемноголетним значениям, точность предложенной модели определения величины эвапотранспирации увеличивается до 25 %.

Проведённые исследования позволили установить состав и содержание комплекса дополнительных параметров, включенных в информационную базу данных для обеспечения повышения точности и надёжности модели управления орошением картофеля летнего срока посадки (таблица 4.12). На основании результатов исследований разработан алгоритм и компьютерная программа оперативного управления орошением картофеля летнего срока посадки (рисунок 4.16). На рисунках 4.13–4.15 показан порядок ввода информации, по метеопараметрам, влагозапасам в расчётном слое почвы и их динамики по декадам вегетационного периода с учётом выпавших осадков.

дата	дата	Температура воздуха, град.	Среднесуточная влажность воздуха, %	Осадки, выпало, за сутки, мм	Скорость ветра, м/с	Темп. вод. паров, град.	Эффективные осадки, мм	Биоклиматический коэффициент	Испаряемость, мм	Эвапотранспирация, мм/сут.	Глуб. корнеоб. слой, мм	Кол-во капиллярного подпит.	Поступл. грун. вод. в корнеоб. слой, мм	Поле Netto, мм	Поле Брутто, мм	Потери на испарение, мм	Потери на аэриг. сток, мм	Потери на поверх. сток, мм	Потери на фильт. рац., мм	Потери на орос. сетн., мм	Водоыл. баланс поля, мм	Объем воды на полив поля, м3
3	1	-1,9	99	0,1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	-3,1	96	0,5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	-4,7	95	6	6	0	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	-5,9	94	2,5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	5	-4,4	94	0,7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	6	-6,3	92	1,2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	7	-6,3	92	3,3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	8	-12,6	86	0,6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	9	-14,8	86	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	10	-13,6	88	0,6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	11	-15,7	83	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103,1
3	12	-14,7	86	0	5	-14,7	0	0,661	0,04	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,6
3	13	-6	92	0,3	7	-20,7	0	0,657	0,11	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,5
3	14	-1,3	91	0,2	10	-22	0	0,656	0,29	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,3
3	15	-4,7	91	0,7	5	-26,7	0	0,653	0,1	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,2
3	16	-10,1	89	0	4	-36,8	0	0,647	0,06	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,2
3	17	-7,8	85	0	6	-44,6	0	0,643	0,15	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,1
3	18	0,7	91	0	8	-43,9	0	0,643	0,27	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,9
3	19	1,6	91	0	6	-42,3	0	0,644	0,22	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,8
3	20	1,6	89	0	6	-40,7	0	0,645	0,26	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,6
3	21	0,4	90	0,7	7	-40,3	0	0,645	0,26	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,5
3	22	-0,3	89	0,5	5	-40,6	0	0,645	0,19	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,3
3	23	0,5	92	4	7	-40,1	0	0,645	0,21	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,2
3	24	-1,3	83	7	7	-41,4	4,9	0,645	0,36	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,6
3	25	-2,3	77	0	5	-43,7	0	0,643	0,33	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,4
3	26	0,7	91	3	7	-43	0	0,644	0,23	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,2
3	27	-1,8	84	0,7	9	-44,8	0	0,643	0,44	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,9
3	28	-0,6	88	0,4	5	-45,4	0	0,642	0,2	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,6
3	29	1	92	1	4	-44,4	0	0,643	0,12	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,7
3	30	4,5	85	5,4	7	-39,9	3,78	0,646	0,52	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,6
3	31	3,5	85	0	5	-36	0	0,648	0,35	0,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,4
4	1	5,6	83	0,7	9	-30,4	0	0,651	0,81	0,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,8
4	2	3,6	85	4	4	-26,8	0	0,653	0,28	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99,6
4	3	5,3	73	0	8	-21,5	0	0,657	1,12	0,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98,9
4	4	8,9	56	0	5	-12,6	0	0,662	1,43	0,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98
4	5	11,2	58	0	7	-1,4	0	0,669	2,18	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96,5
4	6	12,2	70	0	3	10,8	0	0,676	0,7	0,48	0,503	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96
4	7	14,4	64	0	6	25,2	0	0,685	1,89	1,3	0,506	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94,7
4	8	14,2	74	0	4	39,4	0	0,693	0,9	0,63	0,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94,1

Рисунок 4.13 – Посуточные метеоданные, данные о поливах и влагозапасах в почве



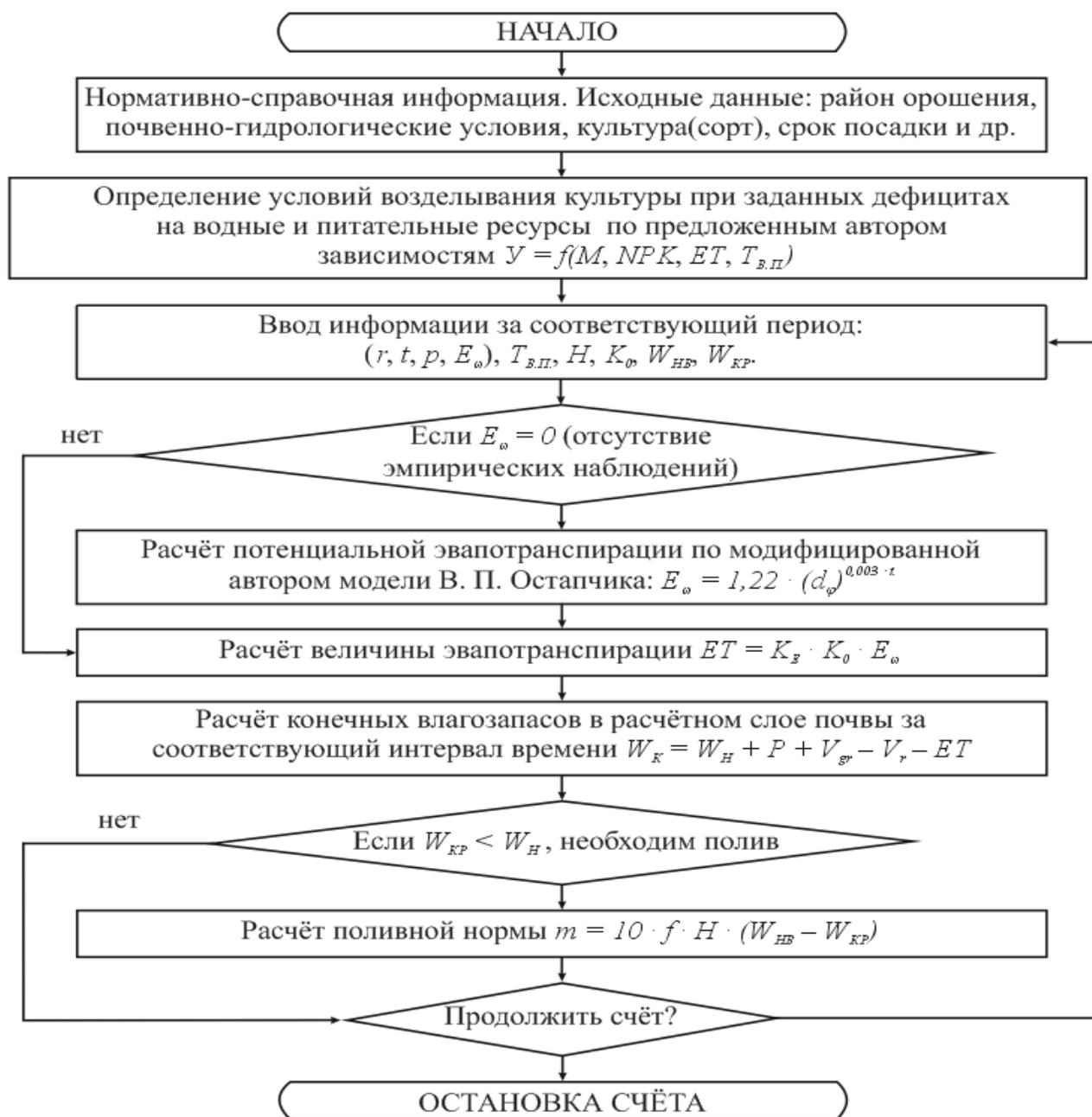


Рисунок 4.16 – Алгоритм оперативного управления орошением

$W_H, W_K$  – влагозапасы почвы на начало и конец расчётного периода, мм;  $t$  – среднесуточная температура воздуха, °С;  $r$  – относительная влажность воздуха, %;  $P$  – осадки, мм;  $T_{в.п.}$  – продолжительность вегетационного периода, сут.;  $H$  – активный слой почвы, м;  $m$  – поливная норма;  $K_E$  – биоклиматический коэффициент;  $K_{\omega}$  – микроклиматический коэффициент;  $V_{gr}$  – подпитка грунтовыми водами;  $V_f$  – инфильтрация, мм;  $\rho$  – плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;  $W_{НБ}, W_{КР}$  – влагозапасы при влажности, соответствующей наименьшей влагоёмкости и критической влажности;  $n$  – расчётный период, сут.;  $ET$  – эвапотранспирация;  $E_{\omega}$  – испаряемость, мм;

Таблица 4.12 – Состав и содержание комплекса дополнительных параметров в информационную базу данных на примере расчёта продуктивности картофеля летнего срока посадки при рациональном использовании водно-энергетических ресурсов.

№ п/п	Наименование показателя	Обозначение	Единицы измерения	Расчётная формула
1	2	3	4	5
1	Продолжительность вегетационного периода растений картофеля	$T_{в.п.}$	сут.	По данным наблюдений
2	Метеоданные: - среднесуточная температура - относительная влажность воздуха - осадки	$t$ $r$ $p$	°С % мм	По данным метеостанции По данным метеостанции По данным метеостанции
3	Влагозапасы: - начальные - конечные	$W_H$ $W_K$	мм мм	Непосредственные измерения по стандартной методике $W_K = W_H + M + P - ET + V_{gr} - V_f$
4	Гидрометеопараметры: потенциальная эвапотранспирация  - дефицит влажности воздуха	$E_w$ $E_\omega$ $d_\phi$	мм мм мб	$E_w = 0,0018 \cdot (t + 25)^2 \cdot (100 - r)$ , (по Н.Н. Иванову) По данным метеостанции либо по модифицированной формуле В. П. Остапчика: $E_\omega = 1,22 \cdot (d_\phi)^{0,003t}$ $d_\phi = l_A \cdot (1 - 0,01 \cdot r)$
5	Биоклиматические коэффициенты: - от испаряемости (по Н. Н. Иванову) - от испарения (по данным фактических)	$K_E$ $K_\omega$	– –	$K_E = ET/E_w$ $K_\omega = ET/E_\omega$

1	2	3	4	5
5	наблюдений на метеостанции) - от дефицита влажности воздуха	$K_d$	–	$K_d = ET/E_d$
6	Величина подпитывания грунтовыми водами	$V_{gr}$	мм	по данным И. С. Харченко $V_{gr} = E_w \cdot (E_w) / e^{P.H}$
7	Величина инфильтрации поверхностных вод	$V_f$	мм	модифицированная эмпирическая зависимость Г. В. Ольгаренко $V_f = -0,07 + 0,041 \cdot (m + P) + 1,44 \cdot \frac{\omega}{\omega_{HB}} - 0,012 \cdot E_w(E_w)$
8	«Урожайность-эвапотранспирация»	$ET$	мм	$ET = 109,05 \cdot Y_\phi^{0,341}$ (по данным автора)
9	«Среднесуточная эвапотранспирация- сумма накопленных температур»	$ET_{CVT}$	–	$ET_{CVT} = -6 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 12,08 \cdot 10^{-3} \cdot \sum t_A$ (по данным автора)
10	«Масса клубней-продолжительность вегетации-режим орошения»	$Y_\phi$	т/га	$Y_\phi = -0,01 \cdot T_{B.П.}^2 + 1,395 \cdot T_{B.П.} - 12,51$ (по данным автора)
11	«Урожайность-удельная оросительная норма»	$Y_\phi$	т/га	$Y_\phi = -90,417 \cdot M_0^2 + 189,05 \cdot M_0 - 59,82$ (по данным автора)
12	«Удельная урожайность-удельная оросительная норма»	$Y_0$	–	$Y_0 = -2,4312 \cdot M_0^2 + 2,0857 \cdot M_0 - 1,6091$ (по данным автора)
13	«Площадь листовой поверхности- продолжительность вегетации- режим орошения»	$S_{Л.О.}$	м <sup>3</sup> /га	$S_{Л.О.} = -0,025 \cdot T_{B.П.}^2 + 2,073 \cdot T_{B.П.}$ (по данным автора)
14	«Площадь листовой поверхности- продолжительность вегетации-дозы внесения минеральных удобрений»»	$S_{Л.Д.}$	м <sup>3</sup> /га	$S_{Л.Д.} = -0,025 \cdot T_{B.П.}^2 + 2,166 \cdot T_{B.П.}$ (по данным автора)

1	2	3	4	5
15	«Масса клубней-продолжительность вегетации-дозы внесения минеральных удобрений»	$Y_D$	т/га	$Y_D = -0,012 \cdot T_{B.II}^2 + 1,544 \cdot T_{B.II} - 13,887$ (по данным автора)
16	«Урожайность-суммарная доза внесения минеральных удобрений»	$Y_\phi$	т/га	$Y_\phi = 2,109 \cdot \sum NPK^{0,554}$ (по данным автора)
17	«Биоклиматический коэффициент ( $K_E$ )-сумма накопленных температур»	$K_E$	–	$K_E = -0,4 \cdot 10^{-6} \cdot \sum t_A^2 + 8,15 \cdot 10^{-4} \cdot \sum t_A$ (по данным автора)
18	«Биоклиматический коэффициент ( $K_\omega$ )-влагозапасы ( $W_0$ )-фазы роста и развития»	$K_\omega$	–	$K_\omega = A_1 \cdot (W_0)^2 + A_2 \cdot (W_0) + A_0$ (модифицированная формула Ольгаренко Г. В.)
19	«среднемноголетние значения эвапотранспирации к потенциальной эвапотранспирации»	$K_{\Delta ET}$	–	$K_{\Delta ET} = f(K_{\Delta E}) = 1,51 \cdot \left(\frac{E_\omega}{E_\omega}\right)^2 - 1,48 \cdot \left(\frac{E_\omega}{E_\omega}\right) + 0,9$ (по данным автора)
20	Достоверность предложенной информационной базы данных, выраженная средней величиной коэффициентов аппроксимации эмпирических зависимостей	$R_{cp}^2$	–	$R_{cp}^2 = 0,93 (0,79 \div 0,99)$

## ВЫВОДЫ

1. Анализ результатов проведённых исследований показывает, что повышение точности определения эвапотранспирации обеспечит значительное увеличение эффективности использования водных и энергетических ресурсов при реализации режимов орошения. Это условие обусловлено новой методологией корректировки биоклиматических коэффициентов в рассматриваемых моделях установления эвапотранспирации с учётом почвенных, гидрогеологических и климатических условий зоны орошения, пространственно-временной изменчивости агрометеорологических параметров и запасов влаги в активном слое почвы, уровня минерального питания и биологических особенностей возделываемой культуры.

2. Получены эмпирические зависимости:

- эвапотранспирации картофеля летнего срока посадки от урожайности для «среднесухого», «среднего» и «средневлажного» годов, а также осреднённых данных за время проведения исследований [ $ET = f(V_\phi)$ ], описываемые уравнениями степенного вида с коэффициентами аппроксимации, соответственно  $R^2 = 0,79$ ,  $R^2 = 0,80$ ,  $R^2 = 0,80$  и  $R^2 = 0,79$ ; коэффициента водного баланса ( $K_M$ ) – представляющего собой затраты оросительной нормы на единицу полученной продукции, от изменения оросительных норм, выраженных в относительных величинах для лет различной водообеспеченности [ $K_M = f(M_0)$ ], которые описываются в общем виде уравнениями полиномиального вида второй степени с коэффициентами аппроксимации, соответственно 0,89, 0,90 и 0,89;

- фактической урожайности картофеля от изменения оросительных норм, выраженных в относительных величинах [ $V_\phi = f(M_0)$ ], для характерных лет обеспеченностей, а также осреднённых данных за время проведения исследований; урожайности картофеля от изменения оросительных норм, выполненных в относительных координатах [ $V_0 = f(M_0)$ ], которые описываются уравнениями полиномиального вида с коэффициентами аппроксимации, соответственно 0,97, 0,96, 0,97, 0,96 и 0,96;

- динамики изменения биоклиматических коэффициентов картофеля ( $K_E$ ) от суммы накопленных активных температур воздуха за вегетационный период

$[K_E = f(\sum t_A)]$  для лет характерных обеспеченностей, которые описываются уравнениями полиномиального вида с коэффициентами аппроксимации, соответственно 0,84, 0,85, 0,83 и 0,82;

- динамики изменения биоклиматических коэффициентов ( $K_\omega$ ) от величины влагозапасов в расчётном слое почвы по периодам развития растений, выраженных в относительных величинах  $[K_E = f(W_0); W_0 = (W_H + W_K) \cdot (2 \cdot W_{HB})^{-1}]$ , описываемые уравнениями полиномиального вида с коэффициентами аппроксимации, соответственно 0,92, 0,93, 0,99, 0,97, 0,96, 0,92;

- динамики изменения величин среднесуточной эвапотранспирации посадок картофеля как от сумм накопленных активных температур воздуха за вегетационный период, так и в расчёте на  $1^\circ\text{C}$  в зависимости от лет различной водообеспеченности по дефициту естественного увлажнения, которые описываются уравнениями полиномиального вида второй степени с коэффициентами аппроксимации, соответственно 0,89, 0,88, 0,91, 0,93 и 0,87, 0,80, 0,89, 0,93;

3. Установлено, что биоклиматические коэффициенты наиболее точно определяются через модульные коэффициенты взаимосвязи эвапотранспирации с потенциальной эвапотранспирацией  $[K_{\Delta ET} = f(K_{\Delta E})]$ .

4. Предложена региональная зависимость для определения величины потенциальной эвапотранспирации, имеющая общий вид:  $E_\omega = A \cdot (d_\varphi)^{b \cdot t}$ , где А и b – эмпирические коэффициенты, равные соответственно 1,22 и 0,003.

5. Разработаны блок схема и алгоритм, на базе которых реализована компьютерная программа управления водопотреблением и режимами орошения картофеля летнего срока посадки с использованием усовершенствованной методики определения величины эвапотранспирации орошаемого поля, с учётом динамики фактических изменений гидрометеопараметров района орошения и запасов влаги в активном слое почвы, обеспечивающее рациональное использование водных, энергетических и земельных ресурсов, повышение плодородия и продуктивности возделывания картофеля летнего срока посадки и создание благоприятных экологических условий на орошаемых землях поймы Нижнего Дона.

## 5 ЭНЕРГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ ЛЕТНЕГО СРОКА ПОСАДКИ

### 5.1 Энергетическая и экономическая эффективность возделывания картофеля

Биоэнергетический анализ эффективности предложенной технологии возделывания картофеля реализован с целью установления окупаемости затрат совокупной энергии. Биоэнергетическая оценка эффективности определяется по зависимостям (формулы 5.1, 5.2):

$$\eta_{1f} = \frac{V_{fu}}{Q_{of}}, \quad (5.1)$$

$$\eta_{2f} = \frac{V_f}{Q_{of}}, \quad (5.2)$$

где  $\eta_{1f}$  – отношение энергии, полученной в хозяйственно-ценной части урожая  $V_{fu}$ , к израсходованной совокупной энергии на производство продукции растениеводства  $Q_{of}$ ;  $\eta_{2f}$  – отношение энергии, полученной в хозяйственно-ценной части урожая и побочной продукции  $V_f$ , к израсходованной совокупной энергии на производство продукции растениеводства.

Величина совокупной энергии и содержания энергии в хозяйственно-ценной части урожая устанавливается по формулам 5.3 и 5.4, МДж/га:

$$Q_{of} = Q_{1f} + Q_{2f} + \dots + Q_{nf}, \quad (5.3)$$

$$V_{fu} = A_f \cdot \lambda_f \cdot L_f, \quad (5.4)$$

где  $A_f$  – хозяйственно-ценная часть урожая, кг/га;  $\lambda_f$  – коэффициент перевода единиц полученной продукции в сухое вещество,  $\lambda_f = 0,35$ ;  $L_f$  – содержание энергии в 1 кг сухого вещества, МДж,  $L_f = 14,36$ .

Все расчёты по определению энергетической эффективности возделывания картофеля летнего срока посадки приведены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Энергетическая характеристика различных технологических этапов возделывания картофеля

Технологические этапы	МДж/га	%
1 Основная обработка почвы	7594,1	5,6
2 Подготовка и предпосевная обработка	1781,8	1,3
3 Подготовка семян и посадка	1134,3	0,9
4 Уход за посадками	1876,6	1,4
5 Удобрения	26304,4	19,4
6 Орошение	53224,7	39,3
7 Пестициды	11762,8	8,7
8 Уборка	31691,5	23,4
Итого	82146,5	100

Таблица 5.2 – Энергетическая характеристика режима орошения посадок картофеля

Показатель	Вариант орошения			
	«М»	«1,2 М»	«0,8 М»	«0,6 М»
Урожайность, т/га	37,1	37,4	35,2	20,5
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	112,37	119,41	103,49	78,35
Энергия, накопленная в урожае клубней картофеля, ГДж/га	73,53	69,07	69,07	58,88
Энергия, накопленная растениями (клубни, корни, стебли, листья), ГДж/га	327,21	342,32	321,73	269,48
Коэффициент энергетической эффективности урожая картофеля $\eta_{1f}$	0,75	0,71	0,79	0,57
Коэффициент энергетической эффективности всей массы $\eta_{2f}$	3,03	2,89	3,07	2,41

Анализ данных показывает, что все рассматриваемые варианты изменения режима орошения посадок картофеля являются энергетически обоснованными. Наиболее выгодным является вариант «0,8 М», коэффициенты энергетической эффективности урожая и всей массы составили 0,79 и 3,07 соответственно.

Совокупная экономическая эффективность возделывания картофеля рассчитывалась по стандартной методике (формула 5.6) с определением абсолютного размера прибыли, получаемой при внедрении новой технологии и её рентабельности:

$$П = Ц - С, \quad (5.6)$$

где  $\Pi$  – абсолютная величина прибыли, руб.;  $C$  – стоимость продукции, руб.;  $S$  – себестоимость продукции, отражающая совокупные затраты в основные фонды, оборотные средства и трудовые ресурсы для внедрения новых технологий и техники, руб.

Стоимость продукции представляет собой совокупность денежных единиц, поступающих от реализации произведенных с помощью базовой и новой технологии, определяется по формуле 5.7:

$$C = \sum C_{pi} \cdot A_{pi}, \quad (5.7)$$

где  $C$  – стоимость реализованной продукции, руб.;  $C_{pi}$  – цена единицы реализованной продукции по  $i$ -му каналу реализации, руб.;  $A_{pi}$  – количество реализованной продукции по  $i$ -му каналу реализации, единицы;  $i$  – канал реализации.

Экономические показатели по возделыванию картофеля приведены в таблице 5.3. Анализ данных показывает, что при расчётном уровне изменения режима орошения от «1,2 М» до «0,6М», рентабельность составляет, соответственно 185,95, 174,55, 184,21 и 74,97 %; то есть при увеличении поливных норм на 20 % от расчётных уменьшается на 11,4 %; при снижении полевных норм на 20 и 40 % от расчётных уменьшается на 1,74 и 110,97 %.

Таблица 5.3 – Экономические показатели возделывания картофеля по вариантам опыта (в среднем за годы исследований)

Вариант	Урожайность, т/га	Стоимость продукции, тыс.руб/га	Себестоимость продукции, тыс. руб./га	Доход, тыс. руб./га	Рентабельность, %
«М»	37,1	345,0	120,65	224,35	185,21
«1,2 М»	37,4	347,8	126,68	221,12	174,55
«0,8 М»	35,2	326,4	114,41	211,99	185,95
«0,6 М»	20,5	190,6	108,93	81,67	74,97

Приведенные энергетические и экономические расчёты позволяют установить, что наиболее выгодным является вариант при снижении на 20% от расчётной величины поливной нормы. При этом рентабельность возделывания картофеля летнего срока посадки составила 185,95%; коэффициент энергетической эф-

фektivности всей массы – 3,07; удельные затраты совокупной энергии составили 103,49 ГДж/га.

Детальный расчёт предлагаемых элементов возделывания картофеля летнего срока посадки приведен в Приложении Д – «Акты внедрения»

## **ВЫВОДЫ**

С энергетической точки зрения все варианты возделывания картофеля летнего срока посадки могут характеризоваться как энергетически эффективные. Наиболее экономически и энергетически выгодным является вариант при снижении на 20 % от расчётной величины поливной нормы. При этом рентабельность возделывания картофеля летнего срока посадки составила 185,95%; коэффициент энергетической эффективности всей массы – 3,07; удельные затраты совокупной энергии составили 103,49 ГДж/га. Реальный экономический эффект по предлагаемым мероприятиям суммарно составил 9298 тыс. руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведённый анализ существующих методов управления орошением сельскохозяйственных культур позволил обосновать приоритетные направления их совершенствования, для разработки и реализации которых предложена функциональная структура комплекса задач управления орошением на основе разработки информационной базы данных объекта исследований, алгоритма и компьютерной программы управления.

2. Разработана информационная база данных по управлению водопотреблением и режимом орошения картофеля, включающая нормативно-справочную, сезонную и оперативную информацию объекта исследований, отличающуюся от существующих информационных баз комплексом полученных математических зависимостей по управлению процессом орошения как для условий нормативной влагообеспеченности, так и заданных уровней дефицитов на водные и питательные режимы.

3. Изучены структура и элементы водного баланса орошаемого поля с определением численных значений величин атмосферных осадков, оросительных норм, влагозапасов в расчётном слое почвы, эвапотранспирации и урожайности картофеля для лет различной обеспеченности по дефициту естественного увлажнения, что позволило разработать рациональный режим орошения.

4. Получены эмпирические зависимости для лет различной обеспеченности и в среднем за годы проведения исследований: эвапотранспирации картофеля от урожайности, которые описываются в общем виде уравнением степенного вида с коэффициентом достоверности аппроксимации равным, 0,80; коэффициента водного баланса, урожайности и прироста урожайности от изменения оросительных норм; динамики изменения биоклиматических коэффициентов от влагозапасов в расчётном слое почвы и от суммы накопленных активных температур воздуха за период вегетации; динамики изменения величин среднесуточной эвапотранспирации как от сумм накопленных активных температур воздуха за вегетационный период, так и расчёте на  $1^{\circ}\text{C}$ , которые описываются в общем виде уравнениями

полиномиального вида с установленными соответствующими эмпирическими коэффициентами и значениями коэффициентов аппроксимации от 0,86 до 0,98.

5. Разработаны алгоритм и компьютерная программа, обеспечивающие реализацию полученной модели управления орошением.

6. Разработана модель определения эвапотранспирации и управления орошением картофеля с учётом повышения качества информационной базы данных, влияния фактической изменчивости гидрометеорологических условий, влажности почвы и уровня урожайности, что обеспечивает экономию водных и энергетических ресурсов на 20 %, повышение точности определения эвапотранспирации на 25 %.

Величина эвапотранспирации определяется на основе взаимосвязи с потенциальной эвапотранспирацией, значение которой устанавливается по региональной эмпирической зависимости В. П. Остапчика, модифицированной автором.

7. Предложенная модель управления орошением картофеля обеспечивает экономию водных ресурсов от 12,4 до 15,9 %; количество сэкономленного топлива, необходимого для подачи воды на орошаемое поле, от 6,9 до 7,5 %. Общий экономический эффект составляет 30,188 тыс. руб. в расчёте на 1 га орошаемой площади. Коэффициент эффективности массы картофеля – 3,07; удельные затраты совокупной энергии составили 103,49 ГДж/га.

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ**

1. В хозяйствах любой формы собственности, имеющих орошаемые земли, применять разработанную модель управления орошением картофеля при составлении внутрихозяйственных планов водопользования.
2. Использовать разработанную модель управления орошением при проектировании новых и реконструкции имеющихся внутрихозяйственных оросительных систем.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Продолжение работы по данной тематике предполагает адаптацию модели управления орошением для других сельскохозяйственных культур в условиях поймы Нижнего Дона.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Писарев, Б. А. Книга о картофеле / Б. А. Писарев. – М.: Московский рабочий, 1977. – 216 с.
2. Астапов, В. И. Орошаемое земледелие / В. И. Астапов, И. И. Адрусенко, В. Т. Барыльник и др.; под ред. В. И. Астапова. – Киев: Урожай, 1987. – 278 с.
3. Бурлака, В. В. Картофелеводство Сибири и Дальнего Востока / В. В. Бурлака. – М.: Колос, 1978. – 207 с.
4. Гарюгин, Г. А. Режим орошения сельскохозяйственных культур / Г. А. Гарюгин. – М.: Колос, 1979. – 269 с.
5. Кружилин, А. С. Выращивание овощных культур и картофеля при орошении: Биология и агротехника / А. С. Кружилин. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 116 с.
6. Рожалин, А. В. Биологические особенности картофельного растения / А. В. Рожалин // Картофель. – М.: Сельхозиздат, 1953. – С. 59–74.
7. Кулыгин, В. А. Картофель на орошении: рекомендации. / В. А. Кулыгин, А. Н. Бабичев [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – 19 с.
8. Справочник картофелевода под ред. д-ра с.-х. наук С. Н. Карманова. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 238 с.
9. Писарев, Б. А. Производство картофеля: справочник / Б. А. Писарев. – М.: Росагропромиздат, 1990. – С. 73–81с.
10. Варивода, В. И. Корневая система, продуктивность и качество картофеля на почвах разной плотности: Тр. НИИКХ / В. И. Варивода. – М., 1965. – Вып. 4. – С. 67–77.
11. Писарев, Б. А. Орошение картофеля в Кулунде / Б. А. Писарев, В. П. Часовских // Картофель и овощи. – 1981. – № 7 – С. 8–9.
12. Багров, М. Н. Орошение картофеля на юге Поволжья / М. Н. Багров // Картофель и овощи. – 1964. – № 1. – С. 2–3.

13. Багров, М. Н. Орошение с.-х. культур в степи Южного Поволжья: Автореф. дис.... др-а. с.-х. наук: 06.01.02 / Михаил Николаевич Багров. – Воронеж, 1963. – 14 с.
14. Руковишников, А. А. Водный режим орошаемых черноземов южных / А. А. Руковишников, В. Н. Антропов, К. Д. Каражанов // Известия АН Казахской ССР. Сер. Биологическая. – 1987. – № 6. – С. 65–69.
15. Варивода, В. И. Корневая система, продуктивность и качество картофеля на почвах разной плотности / В. И. Варивода. М.: Тр. НИИКХ – 1965. – Вып. 4. – С. 67–77.
16. Бобкова, Л. П. Последствие удобрений на качество клубней картофеля / Л. П. Бобкова // Химия в сельском хозяйстве. – 1978. – № 3. – С. 12–15.
17. Битюков, К. К. Орошение с.-х. культур степных районов / К. К. Битюков, П. К. Дорошко. – М.: Колос, 1965. – С. 16-25.
18. Бойко, Н. С. Индустриальная технология раннего картофеля на орошении / Н. С. Бойко // Картофель и овощи. – 1981. – № 5.– С. 8–10.
19. Андреюк, А. И., Почвенные микроорганизмы и интенсивное земледелие. / А. И. Андреюк, Г. А. Иутинская, А. Н. Дульгеров – Киев, 1988. – 189 с.
20. Bosnjak, Dj. Potato Yield and evapotranspiration depending on pre-irrigation soil moisture / Dj. Bosnjak, Ksenija Mackic [and others] // Journal of Agricultural science. – 2012. – № 3. – С. 19–24.
21. Абдукаримов, Д. Т. Полив и удобрение картофеля в Зравашской долине / Д. Т. Абдукаримов // Картофель и овощи. – 1978. – № 6. – С. 8–9.
22. Симольский, Я. И.. Уход за картофелем на Северном Кавказе / Я. И. Симольский, И. И.Сорокин // Картофель и овощи. – №6. – 1963. – С. 12.
23. Лорх, А. Г. Динамика накопления урожая картофеля / А. Г. Лорх. – М.: Сельхозгиз, 1962. – 192 с.
24. Лорх, А. Г. Полив картофеля / А. Г. Лорх, – М.: Агрехимия, 1948. – 80 с.
25. Лысогоров, С. Д. Орошаемое земледелие / С. Д. Лысогоров, В. А. Ушкаренко. – М.: Колос, 1981. – 382.

26. Балашев, Н. Н. Выращивание картофеля и овощей в условиях орошения / Н. Н. Балашев – М.: Колос, 1976. – 304 с.
27. Кашина Ю. Г. Реакция сортов картофеля на погодные условия / Ю. Г. Кашина, К. А. Пшеченков, С. В. Мальцев // Картофель и овощи. – 2012. – № 5. – С. 5–6.
28. Гончарик, М. И. Зависимость развития картофеля от влажности почвы (Картофель и динамика его роста) / М. И. Гончарик. – Минск: АН БССР, 1963. – С. 33.
29. Ильин, А. Ф. Возделывание картофеля на орошаемых землях / А. Ф. Ильин. – М.: Колос, 1979. – С. 222–231.
30. Кружилин, А. С. Физиология орошаемых полевых культур / А. С. Кружилин – М.: Сельхозиздат, 1954. – С. 17–19.
31. Шумаков, Б. А. Изучение водопотребления с.-х. культур – основа для проектирования режимов орошения / Б. А. Шумаков // Биологические основы орошаемого земледелия. – М.: Изд. АН СССР 1957. – С. 121–123.
32. Тыктин, Н. В. Рекомендации по возделыванию картофеля в Ростовской области / Н. В. Тыктин – Ростов н/Д: Ростовское книжное издательство, 1970. – С. 9–11.
33. Shayannejad, Mohammad. Effect of Every-Other Furrow Irrigation on Water Use Efficiency, Starch and Protein Contents of Potato / Mohammad Shayannejad // Journal of Agricultural science. – 2009. – № 2. – С. 107–112.
34. Спиглазова, С. Ю. Надёжная защита картофеля / С. Ю. Спиглазова // Картофель и овощи. – 2014. – № 3. – С. 25–26.
35. Филимонов, М. С. Выращивание картофеля при орошении / М. С. Филимонов – Волжский: Сталинградское книжное издательство. – 1958. – С. 21–31.
36. Травина, С. Н. Экологическая защита картофеля от фитофтороза // С. Н. Травина, С. В. Абакшина // Картофель и овощи. – 2014. – № 2. – С. 28–29.

37. Islam, M.S. Effect of irrigation on the yield and scab infection of potato / M. S. Islam, M. M. Hossain [and others] // Journal of Agricultural Education and Technology. – 2009. – №4. – С. 683–692.

38. Сорока, С. В. Интегрированные системы защиты овощных культур от вредителей, болезней и сорняков: рекомендации. / С. В. Сорока [и др.]. – Минск: РУП «Институт защиты растений», 2008. – 152 с.

39. Балашев, Н. Н. Выращивание картофеля и овощей в условиях орошения / Н. Н. Балашев. – М: Колос, 1968. – 361 с.

40. Котиков, М. В. Оптимальные сроки и нормы внесения гербицида зенкор на картофеле / М. В. Котиков // Картофель и овощи. – 2013. – № 6. – С. 26–27.

41. Максимович, М. М. Культура раннего картофеля / М. М. Максимович. – Москва: Издательство сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1962. – С. 3–10.

42. Николаев, И. Н. Здоровый семенной картофель – на поля Чувашии / И. Н. Николаев, А. В. Разумова, И. Ю. Иванова // Картофель и овощи. – 2011. – № 1. – С. 4–5.

43. Кинчарова, М. Н. Контроль качества семенного картофеля – обязательное условие повышение урожайности / М. Н. Кинчарова, Л. С. Прокофьев // Картофель и овощи. – 2012. – № 6. – С. 2–4.

44. Тимофеева, И. И. Правильно используйте сортовые ресурсы картофеля / И. И. Тимофеева // Картофель и овощи. – 2012. – № 6. – С. 4–5.

45. Пуздря, Ф. Ф. Опыт ООО «Агро-Профи» Костромской области: совершенствуем технологию выращивания семенного картофеля / Ф. Ф. Пуздря, О. А. Старовойтова, Е. Я. Молчанова // Картофель и овощи. – 2011. – № 4. – С. 8–9.

46. Тектонида, И. П. Грунтконтроль суперэлиты – неотъемлемая часть системы сертификации картофеля / И. П. Тектонида, В. И. Башкардин [и др.] // Картофель и овощи. – 2011. – №1. – С. 1–4.

47. Симаков, Е. А. Стратегия развития селекции и семеноводства картофеля на период до 2020 года / Е. А. Симаков, Б. В. Анисимов, Г. И. Филипова // Картофель и овощи. – 2010. – №8. – С. 2–4.

48. Симаков, Е. А. Совершенствование системы семеноводства – важнейший фактор повышения эффективности производства картофеля / Е. А. Симаков, Б. В. Анисимов // Картофель и овощи. – 2009. – № 10. – С. 2–6.

49. Дубинин, С. В. Как получить высококачественный посевной материал картофеля? / С. В. Дубинин // Картофель и овощи. – 2014. – № 1. – С. 31.

50. Дубинин, С. В. Как получить высокий урожай картофеля / С. В. Дубинин // Картофель и овощи. – 2013. – № 2. – С. 21–22.

51. Дубинин С. В. Как получить высокий урожай картофеля в условиях Московской области / С. В. Дубинин // Картофель и овощи. – 2012. – № 2. – С. 12–13.

52. Молчанова Е. Я. Сорт, технология и комплексная защита – основа высоких урожаев картофеля / Е. Я. Молчанова // Картофель и овощи. – 2013. – №2. – С. 18–19.

53. Самодуров, В. Н. Развивать семеноводство на юге России / В. Н. Самодуров, Ю. Г. Просвятников // Картофель и овощи. – 2011. – № 6. – С. 2–4.

54. Церлинг, В. В. Нитраты в растениях и биологическое качество урожая / В. В. Церлинг // Агрехимия. – 1979. – №1. – С. 60–65.

55. Reports of the scientific committee for food. – Luxemburg: ECU, 1997. – С. 1–33.

56. Понасин, В. И. Влияние высоких доз минеральных удобрений на уровень накопления нитратов в картофеле / В. И. Понасин, В. В. Широков, Л. Ф. Мизина // Токсикологический и радиологический контроль состояния почв и растений в процессе химизации сельского хозяйства. – М.; 1981.– С. 107–113.

57. Ночайкина, Г. М. Влияние различного соотношения органических и минеральных удобрений при программировании урожая на качество и сохранность картофеля сорта Невский / Г. М. Ночайкина // Агротехнические

факторы повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Ивановской области: сб. науч. работ. С. П. б., 1992. – С. 52.

58. Щегорец, О. В. Повысить урожайность картофеля в Приамурье можно / О. В. Щегорец [и др]. – М.: Агрохимия – 2005. – № 3. – С. 28.

59. Пенкин, Р. В. Как увеличить урожай картофеля и снизить загрязнение окружающей среды / Р. В. Пенкин, Е. В. Чевелев, П. Е. Пузырьков, Л. А. Дорожкина, С. А. Жупикова // Картофель и овощи. – 2013. – №1. – С. 31–32.

60. Авдеев, Ю. С. Влияние удобрений на урожай и крахмалистость картофеля на дерново-подзолистых почвах / Ю. С. Авдеев – М.: Агрохимия. – 1987. – № 4. – С. 61–66.

61. Авдонин, Н. С. Агрохимия / Н. С. Авдонин. – М.: изд-во Моск. ун-та, 1982. – С. 344.

62. Авдонин, Н. С. Влияние окультуренности дерново-подзолистых почв и вносимых удобрений на урожай и качество растений. / Н. С. Авдонин, Г. А. Соловьёв – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 36 с.

63. Паниткин, В. А. Влияние различных форм и доз калийных удобрений на изменение качества картофеля в процессе хранения / В. А. Паниткин. – М.: Агрохимия. 1979. – № 3. – С. 30–36.

64. Поляков, П. В. Орошение и удобрение картофеля в пойме Дона / П. В. Поляков // Агротехника картофеля: сб. науч. тр. – М.: МСХ РСФСР, 1959. – С. 157.

65. Кружилин, И. П. Орошение картофеля в Западной Сибири / И. П. Кружилин, В. П. Часовских. – Волгоград: ВНИИОЗ, 2001. – 178 с.

66. Лошаков, Е. И. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество клубней картофеля на выщелочных черноземах Горьковской области / Е. И. Лошаков, Т. Б. Царьградская, О. Д. Шафронов. – М.: Агрохимия, – 1979. – № 12. – С. 68–74.

67. Гасанова, М. М. Система удобрения картофеля / М. М. Гасанова // Картофель и овощи. – 2013. – № 7. – С. 27.

68. Кравченко, В. А. Бактериальные удобрения картофеля – важный фактор повышения продуктивности и качества картофеля / В. А. Кравченко, Л. С. Федотова // Картофель и овощи. – 2011. – № 4. – С. 6–7.

69. Гуляева, Г. В. Высокий урожай раннего картофеля / Г. В. Гуляева, Е. Д. Гарьянова, Н. А. Петрова, Н. А. Токарев, П. В. Герасимов // Картофель и овощи. – 2013. – № 8. – С. 8.

70. Ивенин, В. В. Микроудобрения на картофеле / В. В. Ивенин, И. А. Ивенин, А. Н. Бахметова // Картофель и овощи. – 2013. – № 9. – С. 23.

71. Щербакова Н. А. Регуляторы роста на картофеле в Нижнем Поволжье / Н. А. Щербакова // Картофель и овощи. – 2013. – № 10. – С. 21–22.

72. Долженко, В. И. Ассортимент пестицидов для защиты картофеля / В. И. Долженко, А. С. Голубев, О. В. Долженко, А. В. Герасимова // Картофель и овощи. – 2014. – № 2. – С. 22–24.

73. Коршунов, А. В. Качество и лёжкость картофеля при длительном применении возрастающих доз удобрений / А. В. Коршунов, Г. И. Филиппова. – М.: Агрохимия, 1982. – № 10. – С. 80–87.

74. Коршунов, А. В. Удобрение картофеля при орошении / А. В. Коршунов, А. Н. Филиппов // Картофель и овощи 1979 – № 6. – С. 12–13.

75. Коршунов, А. В. Орошение и удобрение – гаранты высоких урожаев картофеля / А. В. Коршунов, Р. Л. Рахимов // Картофель и овощи. – 2011. – № 6. – С. 7–10.

76. Стома, Г. В. Динамика выделения CO<sub>2</sub> южными черноземами после разового полива дождеванием / Г. В. Стома, // Вестник МГУ. – 1985. Сер. 17. – № 2. – С. 60–63.

77. Шестаков, Н. И. Вносите удобрения под картофель локально при нарезке гребней фрезерным культиватором / Н. И. Шестаков // Картофель и овощи. – 2012. – № 8. – С. 6–7

78. Карманов, С. Н. Урожай и качество картофеля / С. Н. Карманов, В. П. Кирюхин, А. В. Коршунов. – М.: Россельхозиздат, 1988. – 167 с.

79. Бутов, А. В. Экологически безопасный картофель / А. В. Бутов, О. Ю. Боева // Картофель и овощи. – 2013. – № 5. – С. 25–26.

80. Бутов, А. В. Оптимальные дозы гербицидов при возделывании картофеля на чернозёмах / А. В. Бутов // Картофель и овощи. – 2009. – № 6. – С. 6–7.

81. Елькина, Г. А. Картофель требует сбалансированного минерального питания / Г. А. Елькина // Картофель и овощи. – 2010. – № 5. – С. 14–15.

82. Федотова, Л. С. Система удобрения картофеля должна быть научно обоснованной / Л. С. Федотова, Г. И. Филипова // Картофель и овощи. – 2010. – № 5. – С. 10–13.

83. Ломов, С. П. Положительная роль сидератов в картофельном севообороте / С. П. Ломов, В. И. Елисеев // Картофель и овощи. – 2011. – № 7. – С. 7.

84. Алексеев, В. А. Оптимальный состав смесей сидеральных культур для картофеля / В. А. Алексеев, Н. Н. Майстренко // Картофель и Овощи. – 2010. – № 6. – С. 9–10.

85. Свист, В. Н. При запашке сидератов урожай и качество картофеля повышаются / В. Н. Свист, А. В. Марухленко // Картофель и овощи. – 2010. – № 4. – С. 16–17.

86. Монастырский, В. А. Возделывание сидеральных культур и их влияние на урожайность и качество клубней картофеля летней посадки [Электронный ресурс] / В. А. Монастырский // Научный журнал КубГАУ: политематический сетевой электрон. журн. / Кубанский гос. аграрн. ун-т. – Электрон. журн. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 92(08). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/08/pdf>.

87. Монастырский, В. А. Урожайность и качество картофеля летней посадки в зависимости от используемого сидерата [Электронный ресурс] / В. А. Монастырский, А. Н. Бабичев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 4(12). – 13 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=205&id=210>.

88. Монастырский, В. Сидеральные культуры и их влияние на урожай картофеля / В. Монастырский, А. Бабичев // Роль науки у підвищенні технологічно-

го рівня ефективності АПК України: матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю 16-17 травня 2013 року. – Тернопіль: Крок, 2013. – С. 88–89.

89. Щедрин, В. Н. Влияние разных доз удобрений на урожайность овощных культур / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, В. А. Кулыгин // Мелиорация и урожай. – 2006. – №6. С. 30–32.

90. Кружилин, И. П. Выращивание овощных культур и картофеля при орошении / А. С. Кружилин. – М.: РОССЕЛЬХОЗИЗДАТ, 1975. – 114 с.

91. Жеребцов, В. Л. Ресурсосберегающая технология возделывания картофеля для условий Кировской области / В. Л. Жеребцов, С. Ф. Тихвинский // Картофель и овощи. – 2009. – № 6. – С. 4–5.

92. Савина, О. В. Направления использования различных сортов картофеля в условиях Рязанской области / О. В. Савина, А. И. Марков // Картофель и овощи. – 2009. – № 6. – С. 5.

93. Ивойлов, А. В. Удобрения и продуктивность картофеля / А. В. Ивойлов, А. А. Танин, О. В. Волков // Картофель и овощи. – 2009. – № 10. – С. 6–7.

94. Новикова, И. В. Орошение картофеля в Ростовской области / И. В. Новикова. Новочеркасск: НГМА, 2005. – 107 с.

95. Арнаутов, В. В. Картофель / В. В. Арнаутов. – М.: Сов. Россия, 1959. – 96 с.

96. Балакай, Н. И. Определение рационального соотношения орошаемых и богарных сельхозугодий на разных агроландшафтах Юга России / Н. И. Балакай, Г. Т. Балакай // Мелиоративное земледелие. – 2010. – С. 39–41.

97. Паненко, И.Д. Зависимость поливного режима картофеля от способа полива и внешних условий / И.Д. Паненко // Биологические основы орошаемого земледелия. – М.: АН СССР, 1957. – С. 263–269.

98. Гиченкова, О. Г. Особенности режима орошения и агротехники раннего картофеля на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / Гиченкова Ольга Геннадьевна. – Волгоград, 2000. – 24 с.

99. Дронова, Т. Н. Возделывание раннего картофеля на орошаемых землях / Т. Н. Дронова // Орошаемое земледелие. – 2013. – №1. – С. 13–19.

100. Тихонов, Н. И. Рекомендации по применению удобрений под картофель: рекомендации. / Н. И. Тихонов [и др.]. – М.: НИИ картофельного хозяйства, 1964. – 17 с.

101. Ильинская, Н. И. Нормирование водопотребности для орошения с.-х. культур на Северном Кавказе / Н. И. Ильинская. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). – 2001. – 164 с.

102. Камераз, А. Я. Выращивание раннего картофеля / А. Я. Камераз. – М.: ГИСХЛ. – 1952. – 103с.

103. Анисимов, Б. В. Картофелеводство в регионах России: актуальные проблемы науки и практики / Б. В. Анисимов, Г. И. Филипова. – М.: ВНИИКХ РЦСК. – 2006. – 268 с.

104. Анисимов, Б. В. Банк здоровых сортов картофеля – важнейший элемент в системе оригинального семеноводства / Б. В. Анисимов, Е. В. Овэс // Картофель и овощи. – 2011. – № 6. – С. 5–7.

105. Вериго, С. А. Почвенная влага и её значение в сельскохозяйственном производстве / С. А. Вериго, Л. А. Разумова. Ленинград: Гидрометеиздат. – 1963. – 288 с.

106. Карманов, С. Н. Урожай и качество картофеля / С. Н. Карманов, В. П. Кирюхин, А. В. Коршунов. – М.: Россельхозиздат, 1988. – 167 с.

107. Козин, М. А. Водный режим почвы и урожай / М. А. Козин. – М.: Колос, 1977. – 302 с.

108. Кружилин, А. С. Биологические особенности и продуктивность орошаемых культур / А. С. Кружилин. – М.: Колос, 1977. – 304 с.

109. Литун, Б. П. Картофелеводство зарубежных стран / Б. П. Литун, А. И. Замотаев, Н. А. Андрюшина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 166 с.

110. Лошаков, Е. И. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество клубней картофеля на выщелочных черноземах Горьковской области / Е. И. Ло-

шаков, Т. Б. Царьградская, О. Д. Шафронов. – Агрохимия, – 1979. – № 12. – С. 68–74.

111. Мачко, П. В. Режим орошения раннего картофеля / П. В. Мачко // Орошаемое земледелие. – Киев: Урожай, 1983. – Вып. 28. – С. 62–65.

112. Машьянова, Г. К. Возделывание, уборка и хранение картофеля / Г. К. Машьянова, А. Е. Аферина, З. И. Анкудинова, Г. П. Шушакова, Н. Ф. Назаренко. – Новосибирск. Западно-сибирское кн. изд-во. 1976. – 117 с.

113. Орлов, Д. С. Органическое вещество степных почв Поволжья и процессы его трансформации при орошении / Д. С. Орлов, В. А. Барановская, А. А. Околелова // Почвоведение. – 1987. – № 10. – С. 65–79.

114. Паненко, И. Д. Поливной режим картофеля: сборник АН СССР / И. Д. Паненко. – М.: АН СССР, 1959. – С. 155–157.

115. Петин, Н. С. Состояние и перспективы разработки научных основ поливных режимов и системы питания главнейших сельскохозяйственных культур / Н. С. Петин // Биологические основы орошаемого земледелия. – 1974. – С. 17–27.

116. Кравчук, А. В. Энергетическая оценка эффективности режимов орошения подсолнечника / А. В. Кравчук, Е. Н. Бессмольная // Научное обозрение. – М.: Издательский Дом Наука образования. – 2011. – № 4. – С. 49–53.

117. Кравчук, А. В. Зона активной работы корневой системы / А. В. Кравчук, Е. Н. Бессмольная, Д. В. Васильченко // Научное обозрение. – М.: Издательский Дом Наука образования. – 2013. – № 12. – С. 11–14.

118. Кравчук, А. В. Роль верхнего порога влажности при назначении режимов орошения сельскохозяйственных культур / А. В. Кравчук // Научное обозрение. – М.: Издательский Дом Наука образования. – 2015. – № 3. – С. 29–32.

119. Кравчук, А. В. Процесс послойного потребления почвенной влаги корневой системой растений / А. В. Кравчук, Д. В. Васильченко // Научная жизнь. – М.: Издательский Дом Наука образования. – 2013. – № 6. – С. 23–27.

120. Шадских, В. А. Возделывание семенных посевов перспективных сортов сои на орошении в сухостепной зоне полужья [Электронный ресурс] /

В. А. Шадских, А. В. Кравчук, В. О. Пешкова [и др.] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – № 4(20). – С 57–72 – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=366&id=370>.

121. Овчинников, А. С. Инновационные технологии орошения овощных культур / А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, О. В. Бочарникова, М. П. Мещеряков // Известия НВ АУК. – Волгоград: ФГБОУ ВПО «ВолГАУ». – 2011. – № 4. – С. 13–17.

122. Овчинников, А. С. Методы повышения урожайности овощных культур на мелиорируемых землях Юга России / А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, О. В. Бочарникова, М. П. Мещеряков, А. А. Пахомов // Известия НВ АУК. – Волгоград: ФГБОУ ВПО «ВолГАУ». – 2014. – № 1(33). – С. 5–8.

123. Овчинников, А. С. Методика расчёта и обоснование параметров контура увлажнения в условиях открытого и закрытого грунта / А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, М. П. Мещеряков // Природообустройство. – М.: ФГБОУ ВО «РосГАУ – МСХА им. К. А. Темерязева». – 2012. – № 4. – С. 29–32.

124. Овчинников, А. С. Интенсивные технологии полива овощей / А. С. Овчинников, В. С. Бочарников, М. П. Мещеряков, О. В. Бочарникова // Сельский механизаторю – М.: ООО «Нива». – 2014. – № 9 (67). – С. 18–19.

125. Астапов, В. С. Мелиоративное почвоведение (практикум) / В. С. Астапов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Сельхозиздат, 1958. – 367 с.

126. Балашев, Н. Н. Выращивание картофеля и овощей в условиях орошения / Н. Н. Балашев – М.: Колос, 1976. – 304 с.

127. Бацанов, Н. С. Картофель / Н. С. Бацанов, С. Н. Карманов – М., 1970. – 640 с.

128. Бацанов, Н. С. Рекомендации по возделыванию картофеля в колхозах и совхозах РСФСР: рекомендации / Н. С. Бацанов [и др] – М., 1962. – 32 с.

129. Битюков, К. К. Орошение с.-х. культур степных районов / К. К. Битюков, П. К. Дорожко. – М.: Колос, 1965. – С. 16–25.

130. Виссер, О. А. Плотность почвы и урожай / О. А. Виссер // Картофель и овощи. – М.: АН СССР, 1964. – № 4. – С. 8–10.

131. Временные рекомендации по режимам орошения сельскохозяйственных культур в Ростовской области: рекомендации / Г. А. Сенчуков, А. С. Михайлин [и др.]. Новочеркасск: ЮжНИИГиМ. – 1983. – 50 с.

132. Сортные ресурсы и передовой опыт производства картофеля: справочник / Е. А. Симаков, Б. В. Анисимов [и др.]. М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2005. – 348 с.

133. Ольгаренко, Г. В. Оросительные нормы (нетто) и их внутрисезонное распределение для основных сельскохозяйственных культур по Федеральным округам Российской Федерации: рекомендации / Г. В. Ольгаренко, Т. А. Капустина [и др.]; под ред. Г. В. Ольгаренко. Коломна: ВНИИ «Радуга». – 2007. – 96 с.

134. Прямов, С. Б. Выращивать картофель при орошении выгодно / С. Б. Прямов, К. А. Пшеченков, Е. А. Симакова, С. В. Мальцев // Картофель и овощи. – 2014. – № 2. – С. 30–31.

135. Бондарева, Т. В. Поливной режим и водопотребление картофеля в условиях Юго-Востока Центрально-чернозёмной полосы / Т. В. Бондарева: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.531 / Бондарева Татьяна Владимировна – Каменная степь, 1971. – 19 с.

136. Власюк, П. А. Водный режим и продуктивность сельскохозяйственных культур на юге СССР / П. А. Власюк // Биологические основы орошаемого земледелия. – М.: АН СССР, 1957. – С. 229–245.

137. Гоголев, И. Н. Орошаемые черноземы и темно-каштановые почвы юга Украины и управление их водно-солевым режимом и плодородием / И. Н. Гоголев, Р. А. Баер // Успехи почвоведения. – М.: Наука, 1986. – С. 238–244.

138. Гончаров, Н. П. Влияние сроков выращивания на урожай и продуктивные качества раннеспелого картофеля / Н. П. Гончаров // Земледелие. Мелиорация. Растениеводство. Садоводство, (сб. науч. работ). – Воронеж, 1972. – Т. VII. – Вып. 1. – С. 138–142.

139. Джулай, А. П. Орошаемое земледелие Кубани / А. П. Джулай, В. Д. Огиенко // – Краснодар: Наука, 1984. – 175 с.
140. Ершов, В. П. Режим орошения и способы полива картофеля на предкавказских черноземах Ростовской области / В. П. Ершов. – Новочеркасск, – 1972. – 173с.
141. Замотаев, А. И. Интенсивная технология производства картофеля / А. И. Замотаев. – М.: Колос, 1989. – 303 с.
142. Ильин, А. Ф. Возделывание картофеля на орошаемых землях / А. Ф. Ильин // Картофель. – М.: Колос, 1979. – С. 222–231.
143. Казанцев, В. А. Орошение и сохранность картофеля / В. А. Казанцев // Картофель и овощи. – 1973. – № 8. – С. 16–17.
144. Гунар, Л. Э. Сорты картофеля в условиях дефицита влаги / Л. Э. Гунар, А. А. Черенков, М. С. Хлопюк // Картофель и овощи. – 2014. – № 4. – С. 26–27.
145. Лобов, Н. Ф. Опыт возделывания картофеля при орошении в Ростовской области / Н. Ф. Лобов. – Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1963. – С. 77–81.
146. Писарев, Б. А. Орошение картофеля в Кулунде / Б. А. Писарев, В. П. Часовских // Картофель и овощи. – 1981. – № 7 – С. 8–9.
147. Писарев, Б. А. Производство картофеля: справочник / Б. А. Писарев. – М.: Росагропромиздат, 1990. – С. 73–81.
148. Nedunchezhiyan, M. Effect of tillage, irrigation, and nutrient levels on growth and yield of sweet potato in rice fallow / M. Nedunchezhiyan, G. Byju and R. C. Ray // *ISRN Agronomy*. – 2012. – № 7. – С. 1–13.
149. Izmirliglu, G. Ethanol production from waste potato mash by using *saccharomyces cerevisiae* / G. Izmirliglu, A. Demirci // *Applied sciences*. – 2012. – №2. – С. 738–753.
150. Shiri-e-Janagrad, M. Potato (*Solanum tuberosum* L.) response to drip irrigation regimes and plant arrangements during growth periods / M. Shiri-e-Janagrad, A Tobeh [and others] // *Asian journal of plant sciences*. – 2009. – №6. – С. 390–399.
151. Костяков А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозиздат., 1951. – 456 с.

152. Алпатьев, А. М. Биофизические основы водопотребления орошаемых культур / А. М. Алпатьев // Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. – Киев: Урожай, 1965. Вып. 2. – С. 15–17.

153. Выховенко, С. В. Причины изменчивости биологических коэффициентов. / С. В. Выховенко // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 7. – С. 32.

154. Голченко, Н. Г. Совершенствование биоклиматического метода расчета суточного водопотребления сельскохозяйственных культур / Н. Г. Голченко, В. М. Вихров // Обоснование норм водопользования в орошаемом земледелии. – М., 1984. – С. 22–28.

155. Остапчик, В. П. Биоклиматический метод расчета испарения с сельскохозяйственных полей / В. П. Остапчик [и др.] // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 1. – С. 39.

156. Остапчик, В. П. Информационно-советующая система управления орошением / В. П. Остапчик. – Киев: Урожай, 1989. – 248 с.

157. Константинов, А. Р. Нормирование орошения, методика их оценки, пути уточнения / А. Р. Константинов, Э. А. Струнников // Гидротехника и мелиорация. 1986. № 1. – С. 13.

158. Струнников, Э. А. Об изменчивости биологических коэффициентов при расчете водопотребления сельскохозяйственных культур / Э. А. Струнников // Гидротехника и мелиорация. – 1977. – № 12. – С. 52.

159. Черемесинов, А. Ю. Применение модели биоклиматических коэффициентов при расчетах эксплуатационных режимов орошения сельскохозяйственных культур / А. Ю. Черемесинов // Освоение мелиорируемых земель и вопросы гидрологии в ЦЧЗ. 1985. – С. 136–141.

160. Будыко, М. И. Определение испарения с поверхности суши / М. И. Будыко, Л. И. Зубенок // Изв. АН СССР. – 1961. – Сер. геогр. наук – № 6. – С. 30–32.

161. Харченко, С. М. Рекомендации по расчету суммарного испарения с естественных угодий и сельскохозяйственных полей теплобалансовым методом / С. М. Харченко – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 53 с.

162. Харченко, С. М. Гидрология орошаемых земель / С. М. Харченко – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 372 с.
163. Харченко, С. И. Результаты измерений суммарного испарения и транспираций различных сельскохозяйственных культур в районах Сальских степей / С. И. Харченко // Тр. /ГГИ. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – Вып. 125. – С. 130–138.
164. Струзер, Л. Р. Сравнение различных методов определения испарений с сельскохозяйственных полей / Л. Р. Струзер, Н. П. Русин // Тр. /ГГИ. – Л.: Гидрометеоздат, 1956. – Вып. 57. – С. 93–124.
165. Алпатьев, А. М. Влагооборот культурных растений / А. М. Алпатьев – Л.: Гидрометеоздат, 1954. – 223 с.
166. Льгов, Г. К. Орошаемое земледелие Северного Кавказа / Г. К. Льгов – Орджоникидзе, 1967. – 260 с.
167. Алпатьев, С.М. К обоснованию формирования поливных режимов с использованием биоклиматического метода расчета суммарного испарения / С. М. Алпатьев., В. П. Остапчик // Мелиорация и водное хозяйство. – М.: Мелиорация и водное хозяйство, 1971. – Вып. 19. – С. 16–17.
168. Циприс, Д. Б. Расчет водопотребления по метеопараметрам / Д. Б. Циприс, Э. Г. Евтушенко // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 9. – С. 20–21.
169. Ольгаренко Г. В. Водосберегающие технологии регулирования водного режима орошаемых земель: Автореф. дис. ... д-ра с./х. наук: 06.01.02. / Геннадий Владимирович Ольгаренко. Новочеркасск, 1997. – 48 с.
170. Зубенок, Л. И. Испарение на континентах / Л. И. Зубенок – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 246 с.
171. Будаговский, А. И. Испарение почвенной влаги / А. И. Будаговский – М.: Наука, 1964. – 280 с.
172. Кузник, И. А. Анализ и корректирование формул для расчета суммарного испарения основных орошаемых культур в Заволжье / И. А. Кузник, Л. Н. Чумакова, А. С. Васильев //Тр. Саратовского СХИ. – 1978. – Вып. 120. – С. 130–135.

173. Константинов, А. Р. Гидрометеорологические проблемы мелиорации / А. Р. Константинов // Тр. /ЛГМИ. – Изд. ЛПУ, 1981. – С. 58–62.

174. Кочетков, П. П. Расчет режима орошения в Западной Сибири с помощью биологических коэффициентов / П. П. Кочетков // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 2. – С. 34.

175. Михальцевич, А. И. Испарение с посевов трав на минеральных почвах / А. И. Михальцевич, А. Е. Жуков // Управление водным режимом мелиорируемых земель – Минск, 1987. – С. 63–68.

176. Левенко, А. А. К вопросу расчета испарения, испаряемости и влагозапасов почвы по метеоданным / А. А. Левенко // Вопросы агроклиматологии – М.: Гидрометеоиздат, 1971. – Вып. 105. – С. 51–59.

177. Лобжанидзе, З. С. К вопросу расчета водопотребления сельскохозяйственных культур в зависимости от влажности почвы / З. С. Лобжанидзе // Вопросы гидромелиорации в Грузии. – Тбилиси, 1977. – Вып. 4. – С. 53–58.

178. Горбачева, Р. И. О вреде переувлажнения почвы / Р. И. Горбачева // Вопросы водного хозяйства – Фрунзе, 1972. – Вып. 42. – С. 69–72.

179. Кривовяз С. М. Суммарное испарение хлопкового поля в зависимости от влажности почвы / С. М. Кривовяз, А. Х. Сохроков // Рациональное использование водных ресурсов Узбекистана. – Ташкент: Ташкентский ин-т инж. ирриг. и мех. с/х., 1984. – С. 55–61.

180. Стельмах, Е. В. Режимы орошения сельскохозяйственных культур на Юге Нечерноземной зоны РСФСР / Е. В. Стельмах – М.: Россельхозиздат, 1987. – 112 с.

181. Яковлев, С. А. О дифференцировке переходных коэффициентов для расчетов водопотребления / С. А. Яковлев // Водное хозяйство. – Киев: Урожай, 1981. – Вып. 1. – С. 16–21.

182. Константинов, А. Р. Унифицированная методика расчета норм водопотребления применительно к автоматизированной системе нормирования водопользования в орошаемом земледелии / А. Р. Константинов, Н. М. Химин. – ЛГМИ, 1987. – 120 с.

183. Талалаевский, Г. В. Воднотеплобалансовый метод определения водопотребления и режим орошения сельскохозяйственных культур / Г. В. Талалаевский // Вопросы проектирования технически совершенных мелиоративных систем: Науч. тр. /В/О Союзводпроект. – М., 1977. – № 47. – с. 16–83.

184. Галямин, Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении / Е. П. Галямин. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 272 с.

185. Галямин, Е. П. Использование расчетных методов для оценки режимов орошения сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов / Е. П. Галямин, А. Л. Соколов // Вопросы совершенствования мелиоративных систем. – 1985. – С. 33–42.

186. Добрачев, Ю. П. Корректность определения оптимальных мелиоративных режимов / Ю. П. Добрачев, А. В. Ильинко // Мелиорация и водное хозяйство. – М.: Мелиорация и водное хозяйство, 2011. – № 2. – С 10–12.

187. Добрачев, Ю. П. Структура управления агро мелиоративными режимами сельскохозяйственного поля / Ю. П. Добрачев, А. В. Матвеев // Природообустройство. – М.: РГАУ МСХА им. К. А. Тимирязева, 2011. – № 2. – С. 5–12.

188. Сорочан, К. И. Оперативное управление орошением по метеопараметрам с помощью персональной ЭВМ / К. И. Сорочан, Н. А. Канн // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 1987. – С. 85–92.

189. Блэк, К. А. Растения и почва. /К. А. Блэк // Пер. с англ. – М.: Колос, 1973. – 503 с.

190. Бойко, С. А. Математическое описание процесса поглощения воды корневой системой растений / С. А. Бойко, О. Д. Сиротенко – Тр. / ИЭМ. – 1977. – Вып. 8 (67). – С. 49–53.

191. Клейн, Р. М., Клейн Д. Т. Методы исследования растений / Р. М. Клейн, Д. Т. Клейн // Пер. с англ. – М.: Колос, 1974. – 528 с.

192. Менжулин, Г. В. Моделирование влагообмена и транспирации в системе «почва-растение-приземной слой атмосферы / Г. В. Менжулин. – Тр. ГГИ. – 1977. – Вып. 247. – С. 36–44.

193. Айдаров, И. П. Оптимизация мелиоративных режимов и осушаемых

сельскохозяйственных земель / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 246 с.

194. Бородычев, В. В. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство. – М.: Мелиорация и водное хозяйство, 2015. – № 1. – С. 8–11.

195. Васильев, С. М. Оптимизация распределения водных ресурсов для различных уровней технической схемы Райгородской ОС / С. М. Васильев, А. В. Акопян, В. В. Слабунов, И. Н. Калайда // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 4(16). – 12 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=292&id=297>.

196. Григоров М. С. Влияние поливных режимов на продуктивность сельскохозяйственных культур в Поволжье / М. С. Григоров, А. И. Хохлов, С. А. Леонтьев // Мелиорация и водное хозяйство. – М.: Мелиорация и водное хозяйство, 1995. – № 9. – С. 27–28.

197. Саноян, М. Г. Агрометеорологическая основа управления влагообеспеченностью посевов / М. Г. Саноян – Ереван: Айстан, 1981. – 371 с.

198. Lensen, M. Scheduling irrigation using computers / M. Lensen – Soil and Water Conservation, 1969, № 24, № 8. – p. 193–195.

199. Agricultural computer network – Agricultural Engineering 58 (1977). – № 12. – p. 12–15.

200. Tscheschke. Irrigate a scheduling / Tscheschke [et.al.] 1978, 59, № 1. – p. 45–46.

201. Snyder, R. California irrigation management information systems. Amer / R. Snyder // Potato, 1984, 61. № 4. – p. 229–234.

202. Bailey. Spachman Irrigation scheduling services Irriguide – the adas wag / Bailey // Irrigate News, 1988, 13. – p. 19–24.

203. Gurwen. WISP – the Wisconsin irrigation scheduling program / Gurwen,

Massic // Advances in evaporation, 1985. – p. 351–356.

204. Stochle. Paper Amer of agr. engine / Stochle, Busset. – 1987. – 24 p.

205. Water recsonrus Bulletin. 1989, 25, № 2. – p. 367–376.

206. Hamlin, M. Irrigation in condicions of Water shortage Transactions / M. Hamlin [et all]. – Vol 10. 1987. – p. 57–69.

207. Костяков, А. Н. Основы мелиораций / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозиздат. 1960. – 662 с.

208. Каюмов, М. К. Программирование продуктивности полевых культур / М. К. Каюмов. – М.: Росагропромиздат, 1989. – С. 346–368.

209. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.

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

211. Кононенко, Т. Н. Методика проведения полевых опытов в условиях орошения / Т. Н. Кононенко – Ставрополь: СКУС, 1993. – 130 с.

212. Роде, А. А. Вопрос изучения водного режима почв / А. А. Роде. – СПб.: Гидромелиоиздат, 1978. – 211 с.

213. Роде, А. А. Почвенная влага / А. А. Роде. – М.: Изд. АН СССР, 1958. – 454 с.

214. Роде, А. А. Методы изучения водного режима почв / А. А. Роде. – М.: Изд. АН СССР, 1960. – 68 с.

215. Астапов, В. С. Мелиоративное почвоведение / В. С. Астапов. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 369 с.

216. Ольгаренко И. В. Информационные технологии планирования водопользования и оперативного управления водораспределением на оросительных системах. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Игорь Владимирович Ольгаренко. Саратов, 2013. – 46 с.

217. Методические рекомендации по определению зависимости «урожайность-водобеспеченность» на основе полевого опыта в условиях орошения /

Д. Б. Циприс, Т. А. Плавник [и др.] // Северный НИИ гидротехники и мелиорации. – СПб., 1988. – 48 с.

218. Расчёт норм водопотребности под заданный урожай / Д. Б. Циприс [и др.] // Гидротехника и мелиорация. – М.: Агропромиздат, 1986. – № 4 – С. 44–47.

219. Догановская, Л. Н. Анализ связей урожай-водобеспеченность по сложным условным кривым вероятностей / Л. Н. Догановская // Водопотребление и оптимизация орошения в Нечернозёмной зоне РСФСР. 1981. – 98 с.

220. Догановская Л. Н. Прогнозирование урожайности зерновых культур по солнечной активности в Кулудийской степи Алтайского края / Л. Н. Догановская // Эффективное использование орошаемых земель в Сибири. – Красноярск, 1978. – С. 54–57.

221. Белинский, С. М. Методика, алгоритмы и программы для построения связи с факторами внешней среды / С. М. Белинский, М. Г. Сулимова, Д. Б. Циприс // Научные основы мелиорации земель при создании территориально-производственных комплексов в Сибири. Красноярск, 1980. – 112 с.

222. Либерман, А. Ш. Оптимизация норм водопотребления сельскохозяйственных культур / А. Ш. Либерман // Водопотребление и оптимизация орошения в Нечернозёмной зоне РСФСР. 1981. – С. 31–34 с.

223. Плавник, Т. А. Расчёт режима орошения сельскохозяйственных культур по рациональному балансу /Т. А. Плавник // Водопотребление и оптимизация орошения в Нечернозёмной зоне РСФСР. 1981. – С. 19–24.

224. Понько, В. А. Изменчивость ресурсов общего увлажнения и задачи их рационального использования /В. А. Понько // Вопросы рационального использования агроклиматических и водных ресурсов. Красноярск, 1984. – № 52. – С. 17–20.

225. Диваков, О. В. О программировании урожаев капусты и картофеля при двустороннем регулировании влажности почвы /О. В. Диваков, В. И. Иванов // Расчёт конструкции и эффективность осушительно-увлажнительных систем в Нечернозёмной зоне РСФСР. М, 1984 – С. 19–32.

226. Шатилов, И. С. Принципы программирования урожайности сельскохозяйственных культур. – Кишинев, 1979. – С. 34–38.

227. Шабанов, В. В. Биоклиматическое обоснование мелиорации / В. В. Шабанов. – СПб: Гидрометеиздат, 1973. – С. 4–10.

228. Арендт, К. П. Обоснование расчётной обеспеченности оросительной способности водотоков / К. П. Арендт, Е. А. Стельмах. – М, 1986 – № 1. – С. 27–32.

229. Бондаренко, С. Г. Программирование урожаев винограда по кривым накопления биомассы / С. Г. Бондаренко // Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. Кишинев: Гидрометеиздат. 1979. – С. 19–31.

230. Никитин И. С. Определение расчётной обеспеченности водохозяйственных параметров мелиоративных систем / И. С. Никитин, С. А. Петухов. М: ЦБНТИ, 1982. – № 13. – С. 19–42.

231. Корсак, В. В. Климатические условия и урожайность поливных культур Саратовской области / В. В. Корсак [и другие] // Научная жизнь. – М.: Издательский дом Наука образования, 2013. – № 3. – С. 27–33.

232. Пронько, Н. А. Автоматизация расчёта дифференцированных режимов орошения сельскохозяйственных культур / Н. А. Пронько [и другие] // Экологические аспекты интенсификации сельскохозяйственного производства: Материалы международной научно-практической конференции том II. – Пенза: Пензенская Гос. С.-х. академия, 2002. – С. 121–123.

233. Шумаков, Б. Б. Новые подходы к определению водопотребления и режимов орошения сельскохозяйственных культур / Б. Б. Шумаков // Мелиорация и водное хозяйство. – М.: Мелиорация и водное хозяйство, 1994. – № 2. – С. 14–15.

234. Шумаков Б. Б. Оптимальное управление – неперемutable условие эффективности и экологической безопасности в орошаемой земледелии / Б. Б. Шумаков, В. П. Остапчик // Вестник с.-х. науки. М: Редакция журнала «Вестник с.-х. науки», 1990. – № 8. – С. 92.

235. Кирейчева, Л. В. Значение комплексных мелиораций для формирования продуктивности и устойчивости агроландшафтов / Л. В. Кирейчева, И. В. Бе-

лова // Мелиорация и водное хозяйство. – М.: «Мелиорация и водное хозяйство», 2004. – № 4. – С. 23–25.

236. Юрченко, И. Ф. Эксплуатационный мониторинг мелиоративных систем для поддержки управленческих решений / И. Ф. Юрченко // Мелиорация и водное хозяйство. – М.: «Мелиорация и водное хозяйство», 2004. – № 4. – С. 48–52.

237. Щедрин, В. Н. Управление водораспределением на открытых оросительных системах на основе гидрологической информации и агрометеопараметров / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, А. В. Акопян, В. В. Слабунов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – Волгоград: ФГБОУ ВПО «ВолГАУ», 2014. – № 2 (34). – С. 152–158.

238. Горбачева, Р. И. Факторы, определяющие значения биоклиматических коэффициентов / Р. И. Горбачева, М. М. Кабаков, В. И. Костик // Гидротехника и мелиорация. М: Гидрометеиздат, 1981. – № 5. – с.51–52.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**Экспериментальные данные по формированию информационной  
базы данных**

**Таблица А3 – Нарастание площади листовой поверхности картофеля по фазам вегетации в зависимости от доз внесения минеральных удобрений за 2012–2014 гг.**

В тыс. м<sup>2</sup>/га

Варианты опытов	Фазы роста и развития				
	Всходы	Бутонизация	Цветение	Преращение прироста ботвы	Увядание ботвы
<b>«Средневлажный» 2012 год</b>					
№ 1. N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub> , контроль	8,2	37,2	51,9	53,1	33,5
№ 2. N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	8,2	34,5	47,1	47,7	31,3
№ 3. N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	8,2	32,4	42,8	43,4	28,4
№ 4. N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	8,2	30,9	38,1	38,9	25,6
№ 5. N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	8,2	39,1	52,9	55,4	35,5
№ 6. N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	8,2	41,4	55,8	57,3	37,1
<b>«Средний» 2013 год</b>					
№ 1. N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub> , контроль	8,2	36,4	51,1	52,6	32,9
№ 2. N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	8,2	33,7	46,0	46,6	30,7
№ 3. N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	8,2	31,5	41,7	42,3	27,5
№ 4. N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	8,2	29,1	36,9	37,4	25,1
№ 5. N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	8,2	38,3	52,3	54,7	34,9
№ 6. N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	8,2	40,2	54,9	56,6	36,3
<b>«Среднесухой» 2014 год</b>					
№ 1. N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub> , контроль	8,2	35,7	50,4	52,0	32,3
№ 2. N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	8,2	32,1	45,2	45,8	30,2
№ 3. N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	8,2	29,9	40,5	41,3	26,4
№ 4. N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	8,2	27,6	35,1	35,9	24,5
№ 5. N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	8,2	37,7	51,2	53,5	34,2
№ 6. N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	8,2	39,4	54,3	55,9	35,1

**Таблица А4 – Прирост массы клубней картофеля по фазам вегетации в зависимости от доз внесения минеральных удобрений за 2012–2014 гг.**

В т/га

Варианты опыта	Фазы роста и развития				
	Бутонизация	Цветение	Прекращение прироста ботвы	Увядание ботвы	Техническая спелость
«Средневлажный» 2012 год					
Вариант № 1. N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub> , контроль	20,5	27,4	32,8	35,5	37,4
Вариант № 2. N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	18,3	25,2	29,7	33,5	35,3
Вариант № 3. N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	15,8	21,5	25,1	27,2	28,6
Вариант № 4. N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	13,2	17,1	20,5	21,3	22,2
Вариант № 5. N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	21,5	28,6	33,9	36,7	38,1
Вариант № 6. N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	23,1	32,7	37,9	40,6	41,7
«Средний» 2013 год					
Вариант № 1. N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub> , контроль	19,9	27,0	32,2	34,3	36,1
Вариант № 2. N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	17,8	24,1	28,9	32,2	33,7
Вариант № 3. N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	15,1	20,3	24,3	25,8	27,0
Вариант № 4. N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	12,6	15,2	18,4	19,5	20,4
Вариант № 5. N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	21,1	27,9	33,2	35,5	37,1
Вариант № 6. N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	22,7	31,4	35,7	38,5	39,5
«Среднесухой» 2014 год					
Вариант № 1. N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub> , контроль	19,4	26,2	31,5	33,9	35,3
Вариант № 2. N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	17,1	23,4	28,1	31,4	32,8
Вариант № 3. N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	14,5	18,9	24,0	25,1	26,1
Вариант № 4. N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	12,0	14,7	17,9	18,8	19,6
Вариант № 5. N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	20,4	27,1	31,2	34,7	36,2
Вариант № 6. N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	21,9	30,2	34,4	37,6	38,1

**Таблица А5 – Нарастание площади листовой поверхности картофеля по фазам вегетации в зависимости от режимов орошения за 2012–2014 гг.**

В тыс. м<sup>2</sup>/га

Варианты опыта	Фазы роста и развития				
	Всходы	Бутонизация	Цветение	Прекращение прироста ботвы	Увядание ботвы
«Средневлажный» 2012 год					
Вариант 1 – («М»), контроль	8,2	39,2	51,9	53,1	33,4
Вариант 2 – «1,2 М»	8,2	41,6	54,2	56,3	35,5
Вариант 3 – «0,8 М»	8,2	37,1	48,2	50,8	31,9
Вариант 4 – «0,6 М»	8,2	34,5	44,7	46,6	27,8
«Средний» 2013 год					
Вариант 1 – («М»), контроль	8,2	38,4	50,7	51,9	32,9
Вариант 2 – «1,2 М»	8,2	41,0	53,5	55,1	34,7
Вариант 3 – «0,8 М»	8,2	36,5	46,9	48,7	31,1
Вариант 4 – «0,6 М»	8,2	33,1	41,2	43,5	26,2
«Среднесухой» 2014 год					
Вариант 1 – («М»), контроль	8,2	37,7	50,4	52,0	32,3
Вариант 2 – «1,2 М»	8,2	40,1	51,4	53,2	34,1
Вариант 3 – «0,8 М»	8,2	35,9	44,3	46,7	29,8
Вариант 4 – «0,6 М»	8,2	32,4	38,9	40,1	24,7

**Таблица А6 – Прирост массы клубней картофеля в зависимости от изменения режима орошения за 2012–2014 гг.**

В т/га

Варианты опыта	Фазы роста и развития				
	Бутонизация	Цветение	Прекращение прироста ботвы	Увядание ботвы	Техническая спелость
«средневлажный» 2012 год					
Вариант 1 – («М»), контроль	19,5	27,8	32,6	35,1	37,9
Вариант 2 – «1,2 М»	19,7	28,1	32,8	35,4	38,0
Вариант 3 – «0,8 М»	19,1	26,4	30,5	33,8	35,9
Вариант 4 – «0,6 М»	13,6	16,5	18,1	20,3	21,2
«средний» 2013 год					
Вариант 1 – («М»), контроль	19,2	27,4	32,1	34,7	37,3
Вариант 2 – «1,2 М»	19,4	27,8	32,5	35,0	37,5
Вариант 3 – «0,8 М»	18,4	25,7	29,1	33,5	35,8
Вариант 4 – «0,6 М»	12,9	15,4	17,2	19,3	20,7
«среднесухой» 2014 год					
Вариант 1 – («М»), контроль	18,5	26,7	30,3	33,8	36,2
Вариант 2 – «1,2 М»	19,0	27,4	31,7	34,2	36,7
Вариант 3 – «0,8 М»	17,6	24,3	27,9	31,8	34,0
Вариант 4 – «0,6 М»	12,2	14,1	16,8	18,5	19,6

**Таблица А7 – Биоклиматические коэффициенты  $K_E$  и  $K_d$  для различных фаз развития картофеля, при варианте орошения поливной нормой 350 м<sup>3</sup>/га («М»), 2012–2014 гг.**

Характеристики	Фазы роста и развития					
	Всходы	Бутонизация	Цветение	Прекращение прироста ботвы	Увядание ботвы	Техническая спелость
«Средевлажный» 2012 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	122,7	253,9	99,5	193	192,3	168,6
Коэффициент $K_E$	0,33	0,43	0,48	0,40	0,31	0,21
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	155,7	312,0	117,3	249,0	229,3	177,0
Коэффициент $K_d$	0,26	0,35	0,41	0,31	0,26	0,20
«Средний» 2013 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	135,1	275,0	115,1	221,7	216,0	175,1
Коэффициент $K_E$	0,30	0,40	0,43	0,35	0,28	0,20
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	190,5	405,3	146	315,9	285,5	185,5
Коэффициент $K_d$	0,21	0,27	0,34	0,24	0,22	0,19
«Среднесухой» 2014 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	144,5	292,4	126,3	247,0	246,0	197,3
Коэффициент $K_E$	0,29	0,38	0,40	0,32	0,25	0,19
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	225,0	474,8	160,3	386,0	313,8	196,7
Коэффициент $K_d$	0,18	0,23	0,31	0,20	0,19	0,18

**Таблица А8 – Биоклиматические коэффициенты  $K_E$  и  $K_d$  для различных фаз развития картофеля, при варианте орошения поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га («1,2 М»), 2012–2014 гг.**

Характеристики	Фазы роста и развития					
	Всходы	Бутонизация	Цветение	Прекращение прироста ботвы	Увядание ботвы	Техническая спелость
«Средевлажный» 2012 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	126,8	255,6	99,6	195,7	195,4	175,2
Коэффициент $K_E$	0,34	0,46	0,52	0,42	0,33	0,21
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	159,6	336,0	123,3	256,8	238,9	184,0
Коэффициент $K_d$	0,27	0,35	0,42	0,32	0,27	0,20
«Средний» 2013 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	135,3	275,6	115,8	223,4	216,3	175,7
Коэффициент $K_E$	0,32	0,43	0,45	0,37	0,29	0,21
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	196,8	423,2	148,8	329,6	294,5	194,2
Коэффициент $K_d$	0,22	0,28	0,35	0,25	0,22	0,19
«Среднесухой» 2014 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	148,6	298,3	128,1	250,6	250,8	187,0
Коэффициент $K_E$	0,29	0,40	0,41	0,33	0,26	0,20
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	243,9	518,7	175,0	393,8	326,0	207,7
Коэффициент $K_d$	0,18	0,23	0,30	0,21	0,20	0,18

**Таблица А9 – Биоклиматические коэффициенты  $K_E$  и  $K_d$  для различных фаз развития картофеля, при варианте орошения поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/Га («0,8 М»), 2012–2014 гг.**

Характеристики	Фазы роста и развития					
	Всходы	Бутонизация	Цветение	Прекращение прироста ботвы	Увядание ботвы	Техническая спелость
«Средевлажный» 2012 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	116,1	249,0	99,4	188,1	182,1	155,5
Коэффициент $K_E$	0,33	0,40	0,46	0,38	0,29	0,20
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	153,2	292,9	114,2	238,3	211,2	172,7
Коэффициент $K_d$	0,25	0,34	0,40	0,30	0,25	0,18
«Средний» 2013 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	134,8	273,5	113,6	220,9	218,0	176,1
Коэффициент $K_E$	0,29	0,37	0,41	0,33	0,25	0,18
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	186,2	389,2	141,2	303,7	272,5	176,1
Коэффициент $K_d$	0,21	0,26	0,33	0,24	0,20	0,18
«Среднесухой» 2014 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	146,3	290,8	124,2	245,7	241,3	189,8
Коэффициент $K_E$	0,27	0,35	0,38	0,30	0,23	0,17
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	219,4	462,7	157,3	368,5	308,3	190,0
Коэффициент $K_d$	0,18	0,22	0,30	0,20	0,18	0,17

**Таблица А10 – Биоклиматические коэффициенты  $K_E$  и  $K_d$  для различных фаз развития картофеля, при варианте орошения поливной нормой  $210 \text{ м}^3/\text{га}$  («0,6 М»), 2012–2014 гг.**

Характеристики	Фазы роста и развития					
	Всходы	Бутонизация	Цветение	Прекращение прироста ботвы	Увядание ботвы	Техническая спелость
«Средевлажный» 2012 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	114,8	233,4	97,4	179,1	180,7	144,2
Коэффициент $K_E$	0,29	0,38	0,42	0,33	0,28	0,19
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	144,8	277,1	107,6	211,0	210,8	161,1
Коэффициент $K_d$	0,23	0,32	0,38	0,28	0,24	0,17
«Средний» 2013 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	132,3	248,9	108,7	208,6	189,2	156,1
Коэффициент $K_E$	0,26	0,36	0,38	0,29	0,27	0,18
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	181,0	373,3	137,6	288,1	268,9	175,6
Коэффициент $K_d$	0,19	0,24	0,30	0,21	0,19	0,16
«Среднесухой» 2014 год						
Испаряемость $E_W$ , мм	141,6	277,2	122,3	222,8	200,0	171,7
Коэффициент $K_E$	0,25	0,33	0,35	0,28	0,26	0,18
Сумма дефицитов влажности воздуха $\Sigma d$ , мб	208,2	435,7	147,5	346,7	305,8	181,7
Коэффициент $K_d$	0,17	0,21	0,29	0,18	0,17	0,17

**Таблица А11 – Величина потенциальной эвапотранспирации по фазам роста и развития растений картофеля за годы исследований.**

Показатель	Фазы роста и развития					
	«Входы»	«Бутонизация»	«Цветение»	«Прекращение роста ботвы»	«Увядание ботвы»	«Техническая спелость»
«Средневлажный» 2012 год						
Потенциальная эвапотранспирация, $E_{\omega}$	59,93	125,37	49,13	95,86	94,48	83,92
«Средний» 2013 год						
Потенциальная эвапотранспирация, $E_{\omega}$	66,84	137,75	56,24	109,13	107,52	87,16
«Среднесухой» 2014 год						
Потенциальная эвапотранспирация, $E_{\omega}$	72,12	143,82	62,96	123,14	121,76	98,23

**Таблица А12 – Среднесуточная эвапотранспирация посадок картофеля по фазам роста и развития, при варианте орошения поливной нормой 350 м<sup>3</sup>/га («М»), за 2012–2014 гг.**

Фазы вегетации	Продолжительность фазы, сут.	Сумма температур, °С	Среднесуточная температура за фазу, °С	Эвапотранспирация за фазу		Среднесуточная эвапотранспирация, мм/сут
				мм	На 1 °С, мм/°С	
<b>«Средневлажный» 2012 год</b>						
Всходы	10	253	25,3	40,5	0,160	4,05
Бутонизация	18	448	24,9	109,2	0,244	6,06
Цветение	7	175	25,0	48,1	0,275	6,87
Прекращение роста ботвы	14	345	24,6	77,2	0,224	5,51
Увядание ботвы	13	351	27,0	59,6	0,170	4,58
Техническая спелость	9	209	23,2	35,4	0,169	3,93
<b>«Средний» 2014 год</b>						
Всходы	10	264	26,4	41,2	0,156	4,12
Бутонизация	18	457	25,4	110,3	0,241	6,13
Цветение	7	178	25,4	49,5	0,278	7,07
Прекращение роста ботвы	14	359	25,6	77,6	0,216	5,54
Увядание ботвы	13	364	28,0	60,5	0,167	4,65
Техническая спелость	9	215	23,9	35,9	0,165	3,99
<b>«Среднесухой» 2014 год</b>						
Всходы	10	271	27,1	41,9	0,154	4,19
Бутонизация	18	469	26,0	111,1	0,237	6,17
Цветение	7	183	26,1	50,5	0,276	7,21
Прекращение роста ботвы	14	371	26,5	78,3	0,211	5,59
Увядание ботвы	13	372	28,6	61,5	0,166	4,73
Техническая спелость	9	223	24,8	36,7	0,164	4,08

**Таблица А13 – Среднесуточная эвапотранспирация посадок картофеля по фазам роста и развития, при варианте орошения поливной нормой 420 м<sup>3</sup>/га («1,2 М»), за 2012–2014 гг.**

Фазы вегетации	Продолжительность фазы, сут.	Сумма температур, °С	Среднесуточная температура за фазу, °С	Эвапотранспирация за фазу		Среднесуточная эвапотранспирация, мм/сут
				мм	На 1 °С, мм/°С	
<b>«Средневлажный» 2012 год</b>						
Всходы	10	253	25,3	43,1	0,170	4,31
Бутонизация	19	479	25,2	117,6	0,245	6,19
Цветение	7	176	25,1	51,8	0,294	7,40
Прекращение роста ботвы	14	351	25,1	82,2	0,234	5,87
Увядание ботвы	14	361	25,8	64,5	0,178	4,60
Техническая спелость	9	179	19,9	36,8	0,205	4,08
<b>«Средний» 2013 год</b>						
Всходы	10	264	26,4	43,3	0,164	4,33
Бутонизация	19	495	26,0	118,5	0,239	6,23
Цветение	7	184	26,3	52,1	0,283	7,44
Прекращение роста ботвы	14	383	27,4	82,4	0,215	5,89
Увядание ботвы	14	397	28,3	64,8	0,163	4,62
Техническая спелость	9	184	20,4	36,9	0,200	4,10
<b>«Среднесухой» 2014 год</b>						
Всходы	10	271	27,1	43,9	0,162	4,39
Бутонизация	19	515	27,1	119,3	0,232	6,28
Цветение	7	189	27,0	52,5	0,278	7,50
Прекращение роста ботвы	14	396	28,3	82,7	0,209	5,91
Увядание ботвы	14	407	29,1	65,2	0,160	4,66
Техническая спелость	9	191	21,2	37,4	0,195	4,15

**Таблица А14 – Среднесуточная эвапотранспирация посадок картофеля по фазам роста и развития, при варианте орошения поливной нормой 280 м<sup>3</sup>/га («0,8 М»), за 2012–2014 гг.**

Фазы вегетации	Продолжительность фазы, сут.	Сумма температур, °С	Среднесуточная температура за фазу, °С	Эвапотранспирация за фазу		Среднесуточная эвапотранспирация, мм/сут
				мм	На 1 °С, мм/°С	
<b>«Средневлажный» 2012 год</b>						
Всходы	10	253	25,3	38,3	0,151	3,83
Бутонизация	18	448	24,9	99,6	0,222	5,53
Цветение	7	175	25,0	45,7	0,261	6,53
Прекращение роста ботвы	13	324	24,9	71,5	0,221	5,50
Увядание ботвы	13	356	27,4	52,8	0,148	4,06
Техническая спелость	9	211	23,4	31,1	0,147	3,45
<b>«Средний» 2013 год</b>						
Всходы	10	264	26,4	39,1	0,148	3,91
Бутонизация	18	457	25,4	101,2	0,221	5,62
Цветение	7	178	25,4	46,6	0,261	6,65
Прекращение роста ботвы	13	340	26,1	72,9	0,214	5,61
Увядание ботвы	13	369	28,4	54,5	0,147	4,19
Техническая спелость	9	217	24,1	31,7	0,146	3,52
<b>«Среднесухой» 2014 год</b>						
Всходы	10	271	27,1	39,5	0,146	3,95
Бутонизация	18	469	26,0	101,8	0,217	5,65
Цветение	7	183	26,1	47,2	0,258	6,74
Прекращение роста ботвы	13	349	26,8	73,7	0,211	5,67
Увядание ботвы	13	374	28,8	55,5	0,148	4,27
Техническая спелость	9	225	25,0	32,3	0,143	3,59

**Таблица А15 – Среднесуточная эвапотранспирация посадок картофеля по фазам роста и развития, при варианте орошения поливной нормой 210 м<sup>3</sup>/га («0,6 М»), за 2012–2014 гг.**

Фазы вегетации	Продолжительность фазы, сут.	Сумма температур, °С	Среднесуточная температура за фазу, °С	Эвапотранспирация за фазу		Среднесуточная эвапотранспирация, мм/сут
				мм	На 1 °С, мм/°С	
<b>«Средневлажный» 2012 год</b>						
Всходы	10	253	25,3	33,3	0,131	3,33
Бутонизация	17	423	26,8	88,7	0,254	5,22
Цветение	7	174	24,9	40,9	0,235	5,84
Прекращение роста ботвы	12	291	24,8	59,1	0,203	4,92
Увядание ботвы	12	310	24,2	50,6	0,174	4,22
Техническая спелость	9	220	25,8	27,4	0,125	3,04
<b>«Средний» 2013 год</b>						
Всходы	10	264	26,4	34,4	0,130	3,44
Бутонизация	17	432	25,4	89,6	0,207	5,27
Цветение	7	176	25,1	41,3	0,234	5,90
Прекращение роста ботвы	12	307	25,6	60,5	0,197	5,04
Увядание ботвы	12	322	26,8	51,1	0,159	4,26
Техническая спелость	9	229	25,4	28,1	0,122	3,12
<b>«Среднесухой» 2014 год</b>						
Всходы	10	271	27,1	35,4	0,129	3,54
Бутонизация	17	469	27,6	91,5	0,195	5,38
Цветение	7	181	25,8	42,8	0,236	6,11
Прекращение роста ботвы	12	324	27,0	62,4	0,192	5,20
Увядание ботвы	12	345	28,7	52	0,150	4,33
Техническая спелость	9	247	27,3	30,9	0,124	3,43

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

**Эксплуатационные режимы орошения картофеля для лет различной  
водобеспеченности**

Таблица Б1 – Элементы режима орошения 2012–2014 год

Дата выпадения осадков и проведения поливов	Поливная норма и осадки, мм			
	Вариант № 1 «М»	Вариант № 2 «1,2 М»	Вариант № 3 «0,8 М»	Вариант № 4 «0,6 М»
1	2	3	4	5
«Средневлажный» 2012 год				
25 июня (полив № 1)	35,0	42,0	28,0	21,0
2 июля (полив № 2)	35,0	42,0	28,0	21,0
5 июля	Осадки 26,0 мм			
9 июля	Осадки 8,0 мм			
14 июля	Осадки 8,0 мм			
20 июля (полив № 3)	35,0	42,0	28,0	21,0
26 июля	Осадки 7,0 мм			
2 августа	Осадки 20,0 мм			
3 августа	Осадки 9,0 мм			
4 августа	Осадки 18,0 мм			
8 августа	Осадки 9,0 мм			
9 августа	Осадки 8,0 мм			
11 августа	Осадки 7,0 мм			
12 августа	Осадки 9,0 мм			
18 августа (полив № 4)	35,0	42,0	28,0	21,0
23 августа	Осадки 18,0 мм			
30 августа	Осадки 2,0 мм			
2 сентября	Осадки 6,0 мм			
9 сентября	Осадки 4,0 мм			
10 сентября	Осадки 4,0 мм			
«Средний» 2013 год				
23 июня (полив № 1)	35,0	42,0	28,0	21,0
24 июня	Осадки 1,0 мм			
25 июня	Осадки 1,0 мм			
26 июня	Осадки 1,0 мм			
30 июня (полив № 2)	35,0	42,0	28,0	21,0
1 июля	Осадки 1,0 мм			
2 июля	Осадки 1,0 мм			
2 июля	Осадки 1,0 мм			
2 июля	Осадки 1,0 мм			
2 июля	Осадки 1,0 мм			
10 июля (полив № 3)	35,0	42,0	28,0	21,0
16 июля	Осадки 8,0 мм			
17 июля	Осадки 5,0 мм			
19 июля	Осадки 14,0 мм			

## Продолжение таблицы Б1

1	2	3	4	5
23 июля (полив № 4)	35,0	42,0	28,0	21,0
28 июля	Осадки 13,0 мм			
2 августа	Осадки 9,0 мм			
5 августа (полив № 5)	35,0	42,0	28,0	21,0
10 августа	Осадки 4,0 мм			
12 августа	Осадки 13,0 мм			
13 августа	Осадки 16,0 мм			
17 августа (полив № 6)	35,0	42,0	28,0	21,0
28 августа	Осадки 7,0 мм			
29 августа	Осадки 11,0 мм			
«Среднесухой» 2014 год				
22 июня (полив № 1)	35,0	42,0	28,0	21,0
24 июня	Осадки 2,0 мм			
25 июня	Осадки 2,0 мм			
26 июня	Осадки 2,0 мм			
29 июня (полив № 2)	35,0	42,0	28,0	21,0
8 июля (полив № 3)	35,0	42,0	28,0	21,0
14 июля	Осадки 4,0 мм			
15 июля (полив № 4)	35,0	42,0	28,0	21,0
25 июля (полив № 5)	35,0	42,0	28,0	21,0
2 августа (полив № 6)	35,0	42,0	28,0	21,0
11 августа	Осадки 3,0 мм			
19 августа	Осадки 11,0 мм			
12 августа (полив № 7)	35,0	42,0	28,0	21,0
23 августа (полив № 8)	35,0	42,0	28,0	21,0
25 августа	Осадки 9 мм			
30 августа	Осадки 21 мм			
1 сентября	Осадки 11 мм			

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

**Статистическая обработка экспериментальных данных**

























**Таблица В5 – Статистическая обработка данных полевых опытов по установлению изменчивости биоклиматических коэффициентов  $K_E$  и  $K_d$  при варианте орошения «М», в среднем за 2012–2014 гг.**

Показатели, x	$\bar{x}$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$\Sigma (x - \bar{x})^2$	$S^2$	$\sigma$	V, %	$S_{\bar{x}}$	$S_{\bar{x}} \cdot$ %	$t_{\alpha = 95 \%}$	НСР	Доверительные интервалы среднего значения ( $\alpha = 95 \%$ )
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$K_E -$	0,33	–	0,02	0,0004	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 1	0,30	0,31	–0,01	0,0001	0,0009	0,0004	0,020	6,80	0,012	3,90	2,92	–
	0,29	–	–0,02	0,0004	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,43	–	0,03	0,0009	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 2	0,40	0,40	0,00	0,00	0,0013	0,0006	0,025	6,24	0,014	3,60	2,92	–
	0,38	–	–0,02	0,0004	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,48	–	0,04	0,0008	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 3	0,43	0,44	–0,01	0,0001	0,0017	0,0016	0,023	9,25	0,023	5,35	2,92	–
	0,40	–	–0,04	0,0008	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,40	–	0,04	0,0008	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 4	0,35	0,36	–0,01	0,0001	0,0017	0,0016	0,040	11,33	0,023	6,54	2,92	–
	0,32	–	–0,04	0,0008	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,31	–	0,03	0,0009	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 5	0,28	0,28	0,00	0,00	0,0018	0,0009	0,030	10,71	0,017	6,18	2,92	–
	0,25	–	–0,03	0,0009	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,21	–	0,01	0,0001	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 6	0,20	0,20	0,00	0,00	0,0002	0,0001	0,010	5,00	0,005	2,89	2,92	–
	0,19	–	–0,01	0,0001	–	–	–	–	–	–	–	–
$K_d -$	0,26	–	0,04	0,0008	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 1	0,21	0,22	–0,01	0,0001	0,0017	0,0016	0,040	18,65	0,023	10,78	2,92	–
	0,18	–	–0,04	0,0008	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,35	–	0,07	0,0049	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 2	0,27	0,28	–0,01	0,0001	0,0075	0,0037	0,061	21,56	0,035	12,45	2,92	–
	0,23	–	–0,05	0,0025	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,41	–	0,06	0,0036	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 3	0,34	0,35	–0,01	0,0001	0,0053	0,0026	0,051	14,52	0,029	8,38	2,92	–













**Продолжение таблицы В8**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ф. № 3	0,38	–	0,06	0,0036	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,30	0,32	– 0,02	0,0004	0,0049	0,0024	0,049	15,26	0,028	8,81	2,92	–
	0,29	–	– 0,03	0,0009	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,28	–	0,06	0,0036	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 4	0,21	0,22	– 0,01	0,0001	0,0053	0,0026	0,051	22,98	0,029	13,27	2,92	–
	0,18	–	– 0,04	0,0016	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,24	–	0,04	0,0016	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 5	0,19	0,20	– 0,01	0,0001	0,0025	0,0013	0,036	18,03	0,021	10,40	2,92	–
	0,17	–	– 0,03	0,0009	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,17	–	0,00	0,00	–	–	–	–	–	–	–	–
Ф. № 6	0,16	0,17	– 0,01	0,0001	0,0001	0,00003	0,006	3,46	0,03	2,00	2,92	–
	0,17	–	0,00	0,00	–	–	–	–	–	–	–	–

Пояснение к таблицам В5–В8: Ф. № – номер фазы:

Ф. № 1 – фаза «всходы»;

Ф. № 2 – фаза «бутонизация»;

Ф. № 3 – фаза «цветение»;

Ф. № 4 – фаза «прекращение роста ботвы»;

Ф. № 5 – фаза «увядание ботвы»;

Ф. № 6 – фаза «техническая спелость».

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

**Дополнительные параметры информационной базы данных**

**Таблица Г1 – Параметры уравнения по определению биоклиматических коэффициентов для различных фаз развития картофеля в зависимости от влагозапасов в расчётном слое почвы**

Фазы роста и развития	Параметры уравнения			Коэффициент аппроксимации
	$A_1$	$A_2$	$A_0$	
«Всходы»	– 0,114	1,747	0,025	0,98
«Бутонизация»	– 0,068	0,229	0,601	0,97
«Цветение»	– 0,082	0,605	0,672	0,99
«Прекращение роста ботвы»	– 0,073	0,550	1,395	0,97
«Увядание ботвы»	– 0,295	0,741	1,027	0,96
«Техническая спелость»	– 0,027	0,181	0,645	0,92

**Таблица Г2 – Параметры уравнения динамики нарастания площади листовой поверхности растений картофеля от продолжительности вегетационного при изменении оросительных норм**

Режим орошения	Параметры уравнения			Коэффициент аппроксимации
	$A_1$	$A_2$	$A_0$	
«М»	– 0,026	2,214	–	0,90
«1,2 М»	– 0,026	2,259	–	0,91
«0,8 М»	– 0,025	2,073	–	0,91
«0,6 М»	– 0,025	1,978	–	0,90

**Таблица Г3 – Параметры уравнения динамики прироста массы клубней картофеля от продолжительности вегетационного периода при изменении оросительных норм**

Режим орошения	Параметры уравнения			Коэффициент аппроксимации
	$A_1$	$A_2$	$A_0$	
«М»	– 0,011	1,495	– 13,47	0,98
«1,2 М»	– 0,011	1,474	– 13,42	0,98
«0,8 М»	– 0,010	1,395	– 12,51	0,98
«0,6 М»	– 0,008	0,939	– 8,012	0,97

**Таблица Г4 – Параметры уравнения динамики прироста массы клубней картофеля от продолжительности вегетационного периода при изменении доз внесения минеральных удобрений**

Дозы внесения минеральных удобрений	Параметры уравнения			Коэффициент аппроксимации
	$A_1$	$A_2$	$A_0$	
N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub>	- 0,012	1,544	- 13,887	0,99
N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	- 0,011	1,404	- 12,539	0,96
N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	- 0,010	1,239	- 11,101	0,96
N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	- 0,009	1,028	- 8,935	0,97
N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	- 0,012	1,601	- 13,796	0,97
N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	- 0,013	1,714	- 15,450	0,98
∑NPK	2,019	0,554	-	0,97

**Таблица Г5 – Параметры уравнения динамики прироста площади листовой поверхности картофеля от продолжительности вегетационного периода при изменении доз внесения минеральных удобрений**

Дозы внесения минеральных удобрений	Параметры уравнения			Коэффициент аппроксимации
	$A_1$	$A_2$	$A_0$	
N <sub>150</sub> P <sub>170</sub> K <sub>95</sub>	- 0,025	2,166	-	0,89
N <sub>128</sub> P <sub>145</sub> K <sub>81</sub>	- 0,023	1,998	-	0,91
N <sub>106</sub> P <sub>120</sub> K <sub>67</sub>	- 0,022	1,867	-	0,92
N <sub>84</sub> P <sub>95</sub> K <sub>53</sub>	- 0,022	1,735	-	0,90
N <sub>172</sub> P <sub>195</sub> K <sub>109</sub>	- 0,024	2,169	-	0,91
N <sub>194</sub> P <sub>220</sub> K <sub>123</sub>	- 0,025	2,266	-	0,93

**Таблица Г6 – Параметры уравнения динамики изменения среднесуточной эвапотранспирации в зависимости от суммы накопленных активных температур воздуха за вегетационный период при различных режимах орошения**

Режим орошения	Параметры уравнения			Коэффициент аппроксимации
	$A_1$	$A_2$	$A_0$	
«М»	- 6,0	12,6	-	0,89
«1,2 М»	- 6,0	13,5	-	0,88
«0,8 М»	- 6,0	12,08	-	0,91
«0,6 М»	- 5,0	10,98	-	0,93

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
**Акты внедрения**

**СПРАВКА**

выдана Ольгаренко Владимиру Игоревичу в том, что в период с 2012 по 2015 гг. он проводил полевые опыты по изучению сортов, сроков посадки, доз внесения минеральных удобрений, режима орошения и водопотребления картофеля летнего срока посадки на полях ООО «Агропредприятие «Бессергеновское» Октябрьского района Ростовской области.

Исполнительный директор  
ООО «Агропредприятие «Бессергеновское»



A handwritten signature in blue ink, appearing to be "В. М. Козлов".

В. М. Козлов

«16» сентября 2015 г.

Исполнительный директор  
 ООО «Агропредприятие «Бессергеновское»

В. М. Козлов

2015 г.



## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

### 1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие:

ООО «Агропредприятие «Бессергеновское» Октябрьского района Ростовской области.

### 2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедряется:

Научно-исследовательская работа по усовершенствованию технологии возделывания картофеля летней посадки, внедрялась в рамках тематического плана ФГБНУ «РосНИИПМ» по теме: «Провести исследования и разработать рекомендации по повышению эффективности использования земельных ресурсов на основе ресурсосберегающих технологий орошения и повышения биопотенциала сельскохозяйственных культур».

### 3. Наименование научной организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»).

### 4. Сроки внедрения мероприятия: 2015 год.

### 5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия:

Внедряется технология прогноза и нормирования водопотребления и режимов орошения картофеля летнего срока посадки, разработанная на основе новых методологических подходов с учётом влияния пространственно-временной изменчивости гидрометеопараметров и фактических влагозапасов в расчётном слое почвы. Разработанная технология обеспечивает экономию водных и

энергетических ресурсов с повышением урожайности сельскохозяйственных культур.

**6. Основные показатели внедряемого мероприятия:**

**а) фактический объём внедрения:** 40 га.

**б) Урожайность картофеля летнего срока посадки:** по внедряемому мероприятию – 34,7 т/га; по заменяемому мероприятию – 31,6 т/га.

**в) экономическая эффективность:** экономия водных ресурсов составила 15,9 % от общего объёма требуемой воды. Количество сэкономленного топлива, необходимого для подачи воды на орошаемое поле составило 7,5 %. Экономический эффект по внедряемому мероприятию составил 1504 тыс. руб (расчёт годового эффекта прилагается).

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»:

*Бабичев*

А. Н. Бабичев

*В. И. Ольгаренко*

В. И. Ольгаренко

Исполнительный директор  
ООО «Агропредприятие «Бессергеновское»

В. М. Козлов

2015 г.



## РАСЧЁТ

Фактического годового экономического эффекта, при внедрении технологии возделывания картофеля летнего срока посадки на землях хозяйства:

Расчёт экономического эффекта вели по формуле:

$$\mathcal{E} = [(C_2 - Z_2) - (C_1 - Z_1)] \cdot A,$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект, тыс. руб.

$C_1$  – стоимость валовой продукции базового варианта, тыс. руб./га;

$C_2$  – стоимость валовой продукции внедряемого варианта, тыс. руб./га;

$Z_1$  – затраты на производство продукции базового варианта, тыс. руб./га;

$Z_2$  – затраты на производство продукции внедряемого варианта, тыс. руб./га;

$A$  – объём внедрения, га

Для сравнимости результатов, стоимость продукции и затраты на возделывание культур, рассчитанных по технологическим картам разработанным в хозяйстве, приведены в ценах по состоянию на 1.10.2015 г.

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»

*Бабичев*

А. Н. Бабичев

*В. И. Ольгаренко*

В. И. Ольгаренко

Экономист

*А. В. Пичиенко*

А. В. Пичиенко

Исходные данные для расчёта экономической эффективности при внедрении технологии возделывания картофеля летнего срока посадки.

Показатели	Обозначения	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
Площадь внедрения	$A$	га	40	40
Средний урожай	$У$	т/га	31,6	34,7
Валовая продукция	$B$	т	1264	1388
Производственные затраты		тыс. руб/га		
– базовый вариант	$З_1$		90,7	
– внедряемый вариант	$З_2$			93,4
Себестоимость 1 т,		тыс. руб		
– базовый вариант	$C_1$		2,87	
– внедряемый вариант	$C_2$			2,69
Стоимость валовой продукции*		тыс. руб/га		
– базовый вариант	$Ц_1$		410,8	
– внедряемый вариант	$Ц_2$			451,1

Примечание: Реализационная цена картофеля составила в среднем 13,0 тыс. руб/т.

Расчёт экономического эффекта:

$$\mathcal{E} = [(C_2 - Z_2) - (C_1 - Z_1)] \cdot A,$$

$$\mathcal{E} = [(451,1 - 93,4) - (410,8 - 90,7)] \cdot 40 = 1504 \text{ тыс. руб.}$$

Экономический эффект от внедрения технологии на общей площади 40 га составил 1504 тыс. руб.

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»

*Бабичев*

А. Н. Бабичев

*В. И. Ольгаренко*

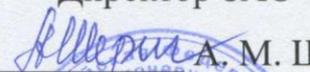
В. И. Ольгаренко

Экономист

*Пичиенко*

А. В. Пичиенко

Директор ЗАО «НИВА»

 А. М. Шурыгин

« 19 »



2014 г.

**АКТ ВНЕДРЕНИЯ****1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие:**

ЗАО «НИВА» Веселовского района Ростовской области.

**2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедряется:**

Научно-исследовательская работа по усовершенствованию технологии возделывания картофеля летней посадки, внедрялась в рамках тематического плана ФГБНУ «РосНИИПМ» по теме: «Провести исследования и разработать рекомендации по повышению эффективности использования земельных ресурсов на основе ресурсосберегающих технологий орошения и повышения биопотенциала сельскохозяйственных культур».

**3. Наименование научной организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»).**4. Сроки внедрения мероприятия:** 2013–2014 годы.**5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия:** Внедряется технология прогноза и нормирования водопотребления и режимов орошения картофеля летнего срока посадки, разработанная на основе новых методологических подходов с учётом влияния пространственно-временной изменчивости гидрометеопараметров и фактических влагозапасов в расчётном слое почвы. Разработанная технология обеспечивает экономию водных и энергетических ресурсов с повышением урожайности сельскохозяйственных культур.

**6. Основные показатели внедряемого мероприятия:**

**а) фактический объём внедрения:** 80 га.

**б) Урожайность картофеля летнего срока посадки:** в 2014 году: по внедряемому мероприятию – 35,1 т/га; по заменяемому мероприятию – 32,8 т/га. В 2013 году: по внедряемому мероприятию – 36,8 т/га; по заменяемому мероприятию – 33,6 т/га.

**в) экономическая эффективность:** экономия водных ресурсов составила 14,7 % от общего объёма требуемой воды. Количество сэкономленного топлива, необходимого для подачи воды на орошаемое поле составило 7,2 %. Экономический эффект по внедряемому мероприятию составил 1896 и 2344 тыс. руб соответственно за 2014 и 2013 гг. (расчёт годового эффекта прилагается).

Разработчики

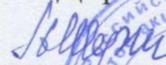
ФГБНУ «РосНИИПМ»:

*Бабичев*  
*Ольгаренко*

А. Н. Бабичев

В. И. Ольгаренко

Директор ЗАО «НИВА»

 А. М. Шурьгин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

**РАСЧЁТ**

Фактического годового экономического эффекта, при внедрении технологии возделывания картофеля летнего срока посадки на землях хозяйства:

Расчёт экономического эффекта вели по формуле:

$$\mathcal{E} = [(C_2 - Z_2) - (C_1 - Z_1)] \cdot A,$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект, тыс. руб.

$C_1$  – стоимость валовой продукции базового варианта, тыс. руб./га;

$C_2$  – стоимость валовой продукции внедряемого варианта, тыс. руб./га;

$Z_1$  – затраты на производство продукции базового варианта, тыс. руб./га;

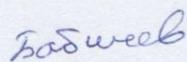
$Z_2$  – затраты на производство продукции внедряемого варианта, тыс. руб./га;

$A$  – объём внедрения, га

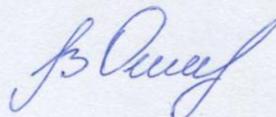
Для сравнимости результатов, стоимость продукции и затраты на возделывание культур, рассчитанных по технологическим картам разработанным в хозяйстве, приведены в ценах по состоянию на 1.10.2014 г.

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»



А. Н. Бабичев



В. И. Ольгаренко

Экономист



А. В. Пичиенко

Исходные данные для расчёта экономической эффективности при внедрении технологии возделывания картофеля летнего срока посадки в 2014 г.

Показатели	Обозначения	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
Площадь внедрения	$A$	га	80	80
Средний урожай	$У$	т/га	32,8	35,1
Валовая продукция	$B$	т	2624	2808
Производственные затраты		тыс. руб/га		
– базовый вариант	$З_1$		87,4	91,3
– внедряемый вариант	$З_2$			
Себестоимость 1 т,		тыс. руб		
– базовый вариант	$C_1$		2,67	2,60
– внедряемый вариант	$C_2$			
Стоимость валовой продукции*		тыс. руб/га		
– базовый вариант	$Ц_1$		393,6	421,2
– внедряемый вариант	$Ц_2$			

Примечание: Реализационная цена картофеля составила в среднем 12,0 тыс. руб/т.

Расчёт экономического эффекта:

$$\mathcal{E} = [(C_2 - Z_2) - (C_1 - Z_1)] \cdot A,$$

$$\mathcal{E} = [(421,2 - 91,3) - (393,6 - 87,4)] \cdot 80 = 1896 \text{ тыс. руб.}$$

Экономический эффект от внедрения технологии на общей площади 80 га составил 1896 тыс. руб.

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»

*Бабичев*

А. Н. Бабичев

*В. И. Ольгаренко*

В. И. Ольгаренко

Экономист

*А. В. Пичиенко*

А. В. Пичиенко

Исходные данные для расчёта экономической эффективности при внедрении технологии возделывания картофеля летнего срока посадки в 2013 г.

Показатели	Обозначения	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
Площадь внедрения	$A$	га	80	80
Средний урожай	$У$	т/га	33,6	36,8
Валовая продукция	$B$	т	2688	2896
Производственные затраты – базовый вариант – внедряемый вариант	$З_1$ $З_2$	тыс. руб/га	86,5	90,1
Себестоимость 1 т, – базовый вариант – внедряемый вариант	$C_1$ $C_2$	тыс. руб	2,57	2,45
Стоимость валовой продукции* – базовый вариант – внедряемый вариант	$Ц_1$ $Ц_2$	тыс. руб/га	336,0	368,0

Примечание: Реализационная цена картофеля составила в среднем 10,0 тыс. руб/т.

Расчёт экономического эффекта:

$$\mathcal{E} = [(C_2 - Z_2) - (C_1 - Z_1)] \cdot A,$$

$$\mathcal{E} = [(368,0 - 90,1) - (336,0 - 87,4)] \cdot 80 = 2344 \text{ тыс. руб.}$$

Экономический эффект от внедрения технологии на общей площади 80 га составил 1896 тыс. руб.

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»

*Бабичев*

А. Н. Бабичев

*Ольгаренко*

В. И. Ольгаренко

*Пичиенко*

А. В. Пичиенко

Экономист

Ген директор  
ОАО «Аксайская Нива»  
Д. Б. Латария  
«11» октября 2014 г.



## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

**1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие:**

ОАО «Аксайская Нива» Аксайского района Ростовской области.

**2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедряется:**

Научно-исследовательская работа по усовершенствованию технологии возделывания картофеля летней посадки, внедрялась в рамках тематического плана ФГБНУ «РосНИИПМ» по теме: «Провести исследования и разработать рекомендации по повышению эффективности использования земельных ресурсов на основе ресурсосберегающих технологий орошения и повышения биопотенциала сельскохозяйственных культур».

**3. Наименование научной организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»).

**4. Сроки внедрения мероприятия:** 2013–2014 годы.

**5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия:** Внедряется технология прогноза и нормирования водопотребления и режимов орошения картофеля летнего срока посадки, разработанная на основе новых методологических подходов с учётом влияния пространственно-временной изменчивости гидрометеопараметров и фактических влагозапасов в расчётном слое почвы. Разработанная технология обеспечивает экономию водно-энергетических ресурсов и повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

**б. Основные показатели внедряемого мероприятия:**

**а) фактический объём внедрения:** 54 га.

**б) Урожайность картофеля летнего срока посадки:** в 2014 году: по внедряемому мероприятию – 33,7 т/га; по заменяемому мероприятию – 30,9 т/га. В 2013 году: по внедряемому мероприятию – 35,8 т/га; по заменяемому мероприятию – 31,9 т/га.

**в) экономическая эффективность:** экономия водных ресурсов составила 12,4 % от общего объёма требуемой воды. Количество сэкономленного топлива, необходимого для подачи воды на орошаемое поле составило 6,9 %. Экономический эффект по внедряемому мероприятию составил 1669 и 1885 тыс. руб соответственно в 2014 и 2013 гг. (расчёт годового эффекта прилагается).

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»:

*Бабичев*

А. Н. Бабичев

*В. И. Ольгаренко*

В. И. Ольгаренко

Ген директор  
 ОАО «Аксайская Нива»  
 Д. Б. Латария  
 «11» октября 2014 г.

## РАСЧЁТ

Фактического годового экономического эффекта, при внедрении технологии возделывания картофеля летнего срока посадки на землях хозяйства:

Расчёт экономического эффекта вели по формуле:

$$\mathcal{E} = [(C_2 - Z_2) - (C_1 - Z_1)] \cdot A,$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект, тыс. руб.

$C_1$  – стоимость валовой продукции базового варианта, тыс. руб./га;

$C_2$  – стоимость валовой продукции внедряемого варианта, тыс. руб./га;

$Z_1$  – затраты на производство продукции базового варианта, тыс. руб./га;

$Z_2$  – затраты на производство продукции внедряемого варианта, тыс. руб./га;

$A$  – объём внедрения, га

Для сравнимости результатов, стоимость продукции и затраты на возделывание культур, рассчитанных по технологическим картам разработанным в хозяйстве, приведены в ценах по состоянию на 1.10.2014 г.

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»

*Бабичев*

А. Н. Бабичев

*В. И. Ольгаренко*

В. И. Ольгаренко

Экономист

*Пичиенко*

А. В. Пичиенко

Исходные данные для расчёта экономической эффективности при внедрении технологии возделывания картофеля летнего срока посадки в 2014 г.

Показатели	Обозначения	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
Площадь внедрения	$A$	га	54	54
Средний урожай	$У$	т/га	30,9	33,7
Валовая продукция	$B$	т	1669	1820
Производственные затраты		тыс. руб/га		
– базовый вариант	$З_1$		84,1	87,9
– внедряемый вариант	$З_2$			
Себестоимость 1 т,		тыс. руб		
– базовый вариант	$C_1$		2,72	2,61
– внедряемый вариант	$C_2$			
Стоимость валовой продукции*		тыс. руб/га		
– базовый вариант	$Ц_1$		370,8	404,4
– внедряемый вариант	$Ц_2$			

Примечание: Реализационная цена картофеля составила в среднем 12,0 тыс. руб/т.

Расчёт экономического эффекта:

$$\mathcal{E} = [(C_2 - Z_2) - (C_1 - Z_1)] \cdot A,$$

$$\mathcal{E} = [(404,4 - 87,9) - (370,8 - 84,1)] \cdot 54 = 1669 \text{ тыс. руб.}$$

Экономический эффект от внедрения технологии на общей площади 54 га составил 1669 тыс. руб.

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»

*А. Н. Бабичев*

А. Н. Бабичев

*В. И. Ольгаренко*

В. И. Ольгаренко

*А. В. Пичиенко*

А. В. Пичиенко

Экономист

Исходные данные для расчёта экономической эффективности при внедрении технологии возделывания картофеля летнего срока посадки в 2013 г.

Показатели	Обозначения	Ед. измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
Площадь внедрения	$A$	га	54	54
Средний урожай	$У$	т/га	31,9	35,8
Валовая продукция	$B$	т	1723	1933
Производственные затраты – базовый вариант – внедряемый вариант	$З_1$ $З_2$	тыс. руб/га	83,2	87,3
Себестоимость 1 т, – базовый вариант – внедряемый вариант	$C_1$ $C_2$	тыс. руб	2,61	2,44
Стоимость валовой продукции* – базовый вариант – внедряемый вариант	$Ц_1$ $Ц_2$	тыс. руб/га	319,0	358,0

Примечание: Реализационная цена картофеля составила в среднем 10,0 тыс. руб/т.

Расчёт экономического эффекта:

$$\mathcal{E} = [(C_2 - Z_2) - (C_1 - Z_1)] \cdot A,$$

$$\mathcal{E} = [(319,0 - 83,2) - (358,0 - 87,3)] \cdot 54 = 1885 \text{ тыс. руб.}$$

Экономический эффект от внедрения технологии на общей площади 54 га составил 1885 тыс. руб.

Разработчики

ФГБНУ «РосНИИПМ»

*Бабичев*

А. Н. Бабичев

*В. И. Ольгаренко*

В. И. Ольгаренко

Экономист

*А. В. Пичиенко*

А. В. Пичиенко