

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «РОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)



На правах рукописи

ПОНОМАРЕНКО ТАИСИЯ СЕРГЕЕВНА

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ
РЕСУРСОВ НА РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук
Г. А. Сенчуков

Новочеркасск 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

	с.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В МЕЛИОРАТИВНОМ КОМПЛЕКСЕ.....	9
1.1 Анализ использования водных ресурсов в мелиоративном комплексе.....	9
1.2 Геоинформационные технологии и методы математического моделирования гидродинамических процессов	11
1.3 Комплексный подход к проектированию и реконструкции оросительных систем.....	18
1.4 Современные аспекты использования водных ресурсов на рисовых оросительных системах Ростовской области	20
Выводы по главе 1.....	29
ГЛАВА 2. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	31
2.1 Программа исследований.....	31
2.2 Гидрометеорологические и почвенные условия в зоне проведения исследований.....	36
2.3 Результаты натурных обследований.....	46
Выводы по главе 2.....	49
ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ...	51
3.1 Проект структуры базы данных для мелиоративных систем.....	51
3.2 Модель использования алгоритмов	54
3.3 Алгоритм для расчета объема водоподачи и сброса за вегетационный период	56
3.4 Алгоритм оперативной посуточной корректировки объемов водоподачи на рисовое поле	61

3.5 Алгоритм посуточной корректировки объема подачи воды на рисовые севообороты.....	72
3.6 Алгоритм расчета эвапотранспирации.....	74
Выводы по главе 3.....	78
ГЛАВА 4. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ	80
4.1 Результаты сценарных исследований на Пролетарской оросительной системе.....	80
4.1.1 Подбор оптимального режима работы дополнительного регулирующего сооружения.....	85
4.2 Водозаборное сооружение для оросительной сети.....	90
4.3 Результаты водобалансовых исследований	93
4.4 Расчет норм водопотребности и водоотведения с рисовых оросительных систем.....	106
4.4.1 Нормы водопотребности риса и сопутствующих культур.....	108
4.4.2 Нормы водоотведения с рисовых оросительных систем.....	113
Выводы по главе 4.....	120
ГЛАВА 5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ...	122
Выводы по главе 5.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	130
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	148
Приложение А Дополнительные материалы.....	148
Приложение Б Копии патента на изобретение РФ и программ для ЭВМ.....	153
Приложение В Акты внедрения результатов НИР.....	157

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Для решения производственных и управленческих задач динамично развивающегося аграрного производства необходимы современные технологии сбора и обработки информации, в том числе географические информационные системы (ГИС). Они особенно востребованы в организациях, эксплуатирующих мелиоративные системы, где значительный объем данных представляется на бумажных носителях, что затрудняет анализ и снижает оперативность управления. Применение геоинформационных технологий позволяет с помощью геопространственного анализа в автоматическом режиме обрабатывать, отображать и анализировать информацию, увеличивая скорость и качество выходных данных.

Эффективность современных технологий орошения сельскохозяйственных культур во многом определяется состоянием оросительной сети и организацией научно обоснованного водопользования. Особенно сложно выполнение этих мероприятий на рисовых оросительных системах. Так, в хозяйствах Ростовской области для формирования 1 т риса-сырца расходуется от 4,02 тыс. м³ до 8,45 тыс. м³, т. е. разница в водоемкости достигает 100 %. Для дальнейшего повышения рациональности водопользования на оросительных системах, эффективного использования водных ресурсов в условиях их дефицита необходим комплекс исследований на основе ГИС-технологий и разработка научных решений, направленных на структурирование и цифровизацию эксплуатационных данных, а также совершенствование технологического процесса орошения.

Степень разработанности темы исследований. Использование ГИС-систем в сельском хозяйстве изучалось Н. В. Бышовым, А. Н. Бачуриным, Д. О. Олейником, Ю. В. Якуниным, В. В. Бородычевым, М. Н. Лытовым и др. Однако, в их работах не рассмотрены вопросы эксплуатации оросительных систем и рационального использования водных ресурсов.

Повышению эффективности использования водных ресурсов на открытых оросительных системах посвящены работы отечественных и зарубежных ученых: В. Н. Щедрина, В. И. Ольгаренко, Б. Б. Шумакова, И. П. Айдарова, В. П. Остапчика, И. П. Кружилина, М. С. Григорова, Ю. А. Свистунова, Ф. К. Абдразакова, G. G. Weldeabzgi, A. Upadhyaya, A. Ikudayisi и др. Моделирование процессов водораспределения детально изучено И. В. Ольгаренко. Им отмечена необходимость разработки алгоритмов оперативного управления водораспределением с учётом конструктивных особенностей оросительных систем и почвенно-климатических условий, а также эксплуатационных режимов орошения сельскохозяйственных культур для каждой природно-климатической зоны с учетом испарения и запасов влаги в расчётном слое почвы.

Технологии возделывания риса подробно рассмотрены в работах З. Ф. Туляковой, К. П. Шумаковой, В. А. Попова, О. Е. Ясониди, М. А. Андрюшина, И. П. Кружилина, М. А. Ганиева, В. В. Бородычёва, Н. Н. Малышевой и др.

Отсутствие цифровизации и структурирования данных – не единственная проблема эксплуатационных организаций. В условиях дефицита водных ресурсов не менее важно их рациональное использование. Анализ многолетних эксплуатационных данных показал, что при расчёте объёмов водоподачи часто используются завышенные нормы водопотребности, не учитываются такие характеристики, как коэффициент увлажнения, гранулометрический состав почв, степень засоления и уровень грунтовых вод. Также ввиду неудовлетворительного состояния каналов их КПД значительно снижен. Это приводит к увеличению потерь на фильтрацию и непроизводительные сбросы.

Таким образом, важнейшими задачами мелиоративной науки являются совершенствование имеющихся и разработка новых технических и технологических решений по проблеме рационализации использования водных ресурсов, обеспечивающих значительное повышение технического уровня оросительных систем и эффективности АПК.

Цель работы – повышение эффективности использования водных ресурсов на основе геоинформационных технологий управления водораспределением на

рисовых оросительных системах.

Задачи исследований:

1. Проанализировать состояние проблемы и установить основные направления совершенствования водопользования на рисовых оросительных системах;
2. Обосновать и разработать структуру геоинформационной базы для повышения эффективности использования водных ресурсов рисовых оросительных систем;
3. Усовершенствовать технологии распределения водных ресурсов на рисовых оросительных системах на основе разработанных алгоритмов и компьютерной гидродинамической модели;
4. Оптимизировать технологический процесс орошения риса на основе изучения закономерностей эвапотранспирации в зависимости от динамики гидрометеорологических факторов;
5. Разработать конструкцию водозаборного сооружения с автоматическим регулированием водоподдачи в каналы младшего порядка оросительной сети.

Научная новизна:

1. Разработана структура геоинформационной базы данных для оросительной системы, позволяющая посредством геопространственного анализа получать эксплуатационные параметры, обеспечивающие повышение эффективности управленческих решений;
2. Усовершенствована технология распределения водных ресурсов по системе оросительных каналов на основе разработки гидродинамической модели движения потока и структуры геоинформационной базы данных для оросительной системы;
3. Усовершенствован технологический процесс орошения риса на основе полученных эмпирических зависимостей эвапотранспирации от динамики гидрометеорологических факторов;
4. Разработаны алгоритмы корректировки водоподдачи на рисовое поле и модель использования системы алгоритмов, а также программы для ЭВМ, повышающие рациональность использования водных ресурсов на рисовых системах;

5. Предложена конструкция водозаборного сооружения с автоматической регулировкой объёма водоподачи в каналы младшего порядка.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость работы состоит в обосновании и разработке структуры геоинформационной базы данных для оросительной системы, позволяющей систематизировать ее эксплуатационные параметры; гидродинамической модели движения потока на участке Пролетарской оросительной системы; алгоритмов и компьютерных программ для расчета и посуточной корректировки объемов водоподачи в реальном временном периоде, полученных на основе эмпирических зависимостей эвапотранспирации от динамики гидрометеорологических факторов; усовершенствовании технологического процесса орошения риса на основе изучения структуры водного баланса орошаемого поля и нормирования подачи и распределения водных ресурсов.

Практическая значимость заключается в разработке информационной базы данных и программ для ЭВМ. Подтверждением практической значимости являются результаты внедрения программных продуктов в эксплуатационных организациях Ростовской области.

Методология и методы диссертационного исследования.

Теоретические исследования проводили на основе методов системного анализа, геоинформационных и математических методов, полевые – с применением современных методик и оборудования. Для обработки данных использованы методы математической статистики и компьютерное моделирование.

Положения, выносимые на защиту:

1. Структура геоинформационной базы данных для оросительной системы, позволяющая систематизировать ее эксплуатационные параметры;
2. Усовершенствованная технология распределения водных ресурсов по системе оросительных каналов на основе гидродинамической модели;
3. Технологический процесс орошения риса, оптимизированный на основе полученных эмпирических зависимостей эвапотранспирации в увязке с динамикой гидрометеорологических факторов;

4. Алгоритмы для определения и корректировки объемов подачи воды на рисовое поле, модель использования системы алгоритмов и реализованные на их основе программы для ЭВМ;

5. Конструкция водозаборного сооружения с автоматической регулировкой объёма водоподачи в каналы младшего порядка.

Степень достоверности и апробация результатов работы подтверждается достаточным объёмом экспериментального и статистического материала, использованием стандартных методик математико-статистической обработки данных, высокой сходимостью теоретических и экспериментальных данных исследований, результатами внедрения в эксплуатационных организациях. Основные положения работы были представлены и одобрены на всероссийских и международных конференциях: ФГБНУ «РосНИИПМ» (2016, 2018, 2021 гг.), ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» (2016 г.). Гидродинамическая модель канала отмечена золотой медалью Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» (г. Москва, 2016 г.).

Публикации. Результаты исследований изложены в 13 публикациях, из которых 3 статьи опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья – в международной наукометрической базе Scopus, получены патент РФ на изобретение и 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём работы составляет 160 страниц машинописного текста, включая 51 рисунок, 19 таблиц, список литературы из 157 наименований, в том числе 11 иностранных источников.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В МЕЛИОРАТИВНОМ КОМПЛЕКСЕ

1.1 Анализ использования водных ресурсов в мелиоративном комплексе

Российская Федерация, располагая среднемноголетним значением поверхностного стока 4270 км³/год, относится к странам, которые наиболее обеспечены водными ресурсами [1]. Но, несмотря на значительный потенциал водных ресурсов, ежегодно используется не более 3 % от общего стока. Неравномерное их распределение по территории России ещё более усугубляет дефицит водных ресурсов в некоторых регионах. При анализе данных по водопользованию в разрезе федеральных округов установлено, что по Северо-Западному округу этот показатель составляет 18 %, Центральному – 17 %, по Приволжскому и Южному – по 14 %, Сибирскому – 13 %, Северо-Кавказскому – 12 %, Уральскому – 9 %, Дальневосточному – 3 % [2]. Так, на наиболее освоенные районы европейской части страны приходится менее 10 % водных ресурсов [3].

Водохозяйственный комплекс России является одним из крупнейших в мире. Он включает более 30 тыс. различных водохранилищ и прудов с общим объёмом свыше 800 км³, при этом полезный объём составляет 342 км³. Для перераспределения речного стока имеется сеть каналов межбассейнового и внутрибассейнового перераспределения общей протяжённостью более 3 тыс. км. Такая сеть позволяет осуществлять переброску стока в объёме порядка 17 км³ в год [4, 5].

Анализ данных по водопользованию за последние 10 лет выявил, что в 2010 г. для целей орошения было использовано наибольшее количество воды – почти 7,9 млрд м³, наименьшее в 2013 г. – 6,6 млрд м³. Несмотря на некоторое увеличе-

ние объёма в 2014 г., в целом, в течение нескольких последних лет отмечается сокращение уровня потребления водных ресурсов по главному виду водопользования в сельскохозяйственной отрасли [6].

Сумма атмосферных осадков для получения устойчивого урожая зерна должна составлять не менее 700 мм в год. На территории нашей страны в таких условиях располагается около 1 % сельскохозяйственных угодий (для примера в США – 60 %) [7]. Около 80 % всех посевов сельскохозяйственных культур, в том числе свыше 60 % посевов зерновых, сосредоточено в неблагоприятной природно-климатической зоне Российской Федерации [3].

Главную роль в развитии производственной и социальной инфраструктуры сельских территорий, производства сельскохозяйственной продукции и, как следствие, обеспечении продовольственной безопасности нашей страны играют водные ресурсы. В социально-экономическом развитии АПК важное значение имеет безопасность водопользования и функционирования водохозяйственного комплекса.

На сегодняшний день в России насчитывается 121,6 млн га пашни [5]. Главной особенностью орошаемого земледелия относительно других отраслей сельскохозяйственного производства является его высокая капиталоемкость и ресурсоемкость. В России до четверти от общего объёма потребления водных ресурсов экономикой приходится на водозабор для полива орошаемых угодий, основная часть из которых (97,8 %) относится к безвозвратному водопотреблению [8]. В 1980–1992 гг. годовой объём изъятия воды для нужд сельского хозяйства Российской Федерации составлял 37–41 км³. В дальнейшем отмечено резкое снижение, и к 2005 г. данный показатель составил 21 км³ [9]. В нашей стране эффективность использования оросительных вод гораздо ниже, чем в европейских странах и США. По данным информационных источников [10], на 2019 г. в России на выращивание 1 т зерна затрачивалось порядка 3000 м³ воды, при этом в странах с более влажным климатом, например, во Франции данный показатель составлял 660 м³, в Великобритании – 790 м³, в США – 1000 м³, Польше – 1300 м³. Стоит отметить, ресурсоемкость мелиоративного комплекса уровня 1990 г. в США осталась на прежнем уровне, в Великобритании снизилась в 1,7 раза, в Российской Федерации этот показатель увеличился более чем в 2 раза за

последние 30 лет [10, 11, 12].

Неудовлетворительное состояние мелиоративных систем является одной из причин увеличения ресурсоёмкости. Отсутствие реконструкции и модернизации мелиоративных объектов привело к деградации оросительных систем до критического уровня. По данным государственного мониторинга срок эксплуатации большинства гидротехнических сооружений мелиоративного назначения превысил предельные значения для сооружений такого класса. Предварительная оценка выявила, что общее количество сооружений с такой степенью износа составляет более 55 % [6, 13].

Отрицательное воздействие орошения на окружающую среду, обусловленное как техническим несовершенством мелиоративных систем, так и нерациональной системой управления водораспределением и эксплуатацией, отмечается в работах М. С. Григорова [14], И. П. Айдарова [15–17], В. П. Остапчика [18–20], И. П. Кружилина [21–26], Б. Б. Шумакова [27–34], В. Н. Щедрина [35–37], В. И. Ольгаренко [38–40], Иг. В. Ольгаренко [41–45], Ю. А. Свистунова [46] и др. Эта проблема значительно усиливается большой стоимостью энергоносителей и наличием дефицита водных и других видов ресурсов на орошаемых территориях страны. Поэтому важнейшими задачами эксплуатации мелиоративных систем является разработка комплекса мероприятий по значительному уменьшению технологических потерь.

1.2 Геоинформационные технологии и методы математического моделирования гидродинамических процессов

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством является использование инфор-

мационных систем на базе геоинформационных технологий. Подобные системы позволяют решать многочисленные задачи, в числе которых информационная поддержка принятия решений, планирование агротехнических операций, мониторинг агротехнических операций и состояния посевов.

Географическая информационная система (ГИС) – это система аппаратно-программных средств и алгоритмов, созданная для цифровой поддержки, пополнения, управления, анализа и образного отображения географически координированных данных. Отличительным признаком ГИС является то, что эти системы имеют дело с координатной и смысловой информацией об объектах, расположенных на той или иной территории [47].

Для любой ГИС характерны четыре функции:

- сбор сведений о территории, т.е. получение координатной и смысловой информации об изучаемых объектах этой территории;
- генерализация (т. е. обобщение) собранной информации в виде тематической карты, плана, схемы и т.п., т.е. условное отображение расположения и свойств объектов на картографической основе;
- обработка и анализ генерализованной информации о территории;
- принятие решения (или выводов) по результатам анализа [47].

ГИС-системы используются для создания и ведения кадастров земель и водных объектов, реестров собственности, экологического и погодного мониторинга, управления чрезвычайными ситуациями, оценки производственных рисков, анализа взаимосвязей различных факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур и во многих других приложениях, основанных на пространственно-распределенной информации. По сути, ГИС – это объединение электронных карт, баз данных и средств их ведения и анализа. Возможности и гибкость этих систем обеспечивают их применимость как в масштабах всей страны, так и на уровне отдельного фермерского хозяйства [48, 49].

В ГИС используются два подхода к организации пространственных данных. Первый – это послойная организация информации и второй, основанный на объектно-ориентированном подходе. Послойный принцип организации информации очень нагляден и хорошо соотносится с приемами традиционной картографии. Он заключается в том, что устанавливается некоторое деление объектов на тематические слои. Объекты, отнесенные к определенному слою, образуют некоторую логически отдельную единицу данных, например, они собираются в один файл или в одну директорию и имеют единую и отдельную от других слоев систему идентификаторов [48–51]. Объектно-ориентированный принцип организации данных в ГИС акцентирует внимание не столько на общих свойствах объектов, сколько на их положении в какой-либо сложной иерархической схеме классификации и на взаимоотношениях между объектами. [48, 51, 52]. Наибольшее распространение получил послойный подход.

Вопросы использования ГИС-систем рассмотрены в работах [48–60]. Авторы [48, 51] подробно рассматривают особенности использования таких систем в сфере АПК, в частности при агротехническом планировании. Также отмечают, что для более эффективного использования агрономическая ГИС должна содержать многослойную электронную карту хозяйства и атрибутивную базу данных истории полей с информацией о всех агротехнических мероприятиях [52, 58, 61, 62, 63].

На основе изучения литературных источников по применению ГИС-технологий в сельском хозяйстве можно отметить, что большая часть работ посвящена точному земледелию и не охватывает вопросы эксплуатации оросительных систем, которые являются основными для обеспечения рационального использования водных ресурсов.

С 30–40-х годов XX в. для решения различных инженерных задач гидравлики открытых потоков применялись физические модели, а полученные с их помощью результаты являлись основой для принятия проектных решений. Однако с ростом количества и размеров инженерных сооружений, увеличением количества и качества задач требовалась всё более тесная их увязка с экономикой региона, поэтому гидравлические модели достигли пределов сферы своего применения [64].

В настоящее время за рубежом проводятся исследования по моделированию гидродинамических процессов [65, 66], управлению водораспределением [67–71] в том числе с применением геоинформационных технологий [72].

Применение математического (численного) моделирования позволяет решать задачи, которые относительно недавно невозможно было решать традиционными (в частности, с использованием физического моделирования) методами. При моделировании рек, имеющих большую протяжённость и разветвлённость, лабораторные исследования бассейнов рек в приемлемых геометрических масштабах принципиально невозможны, и численное моделирование является единственно приемлемым по достоверности и реальной осуществимости путём решения задач [64, 73].

При моделировании процессов в математической модели объекта используются реальные характеристики оросительной системы, поэтому нет необходимости пересчёта результатов математического моделирования с модели на натуру, и соответственно не возникает проблемы критериев подобия. Методы математического моделирования процессов неустановившегося движения сложных систем являются практически единственными, т. к. физическое моделирование таких водотоков практически невозможно из-за необходимости больших затрат [65].

Для разработки и дальнейшего использования компьютерных моделей от разработчиков требуется, помимо знания логических методов, подробный анализ изучаемого объекта с целью верного формулирования основных идей и закономерностей [66].

В последнее время появился термин *simulation* – имитационное моделирование (имитация), который представляет собой процесс разработки модели реальной оросительной либо речной системы и постановки экспериментов на этой модели для понимания поведения системы и оценки различных стратегий, которые смогут обеспечить функционирование данной системы (Роберт Ю. Шеннон).

Определение «имитация» сформулировано Габром и Вепршеком, звучит следующим образом – метод расчёта, который позволяет вычислять последствия какого-либо решения без проведения его на реальной системе, которую он воспроизводит [73].

В водохозяйственных системах понятие «имитация» используется как техника моделирования, когда условия эксплуатации водохозяйственной системы воспроизводят с помощью математических и логических зависимостей для выбранного периода с учётом специфики входных данных (приток воды в систему, требования к системе) и специфических характеристик систем (ёмкость водохранилищ и т. п.) на основе определённых правил управления [67, 68].

Имитационные модели выражают зависимости между элементами водохозяйственных систем, которые можно разделить на три основные группы, а именно: водохозяйственные объекты, характеризующиеся одним или несколькими параметрами; естественные водоисточники, характеризующиеся временными рядами расходов и величинами, относящимися к качеству воды, и требования к водохозяйственным системам, которые могут быть постоянными, переменными в зависимости от тенденций развития, могут циклически изменяться или же вести себя подобно стохастическим переменным, как, например, требования к количеству воды для орошения [69, 73].

Таким образом, имитационная модель водохозяйственной системы должна воспроизводить условия её эксплуатации на основе рядов входных данных о расходах или величинах, характеризующих качество воды, причём параметры водохозяйственных объектов и других устройств принимают значения, регламентированные требованиями к водохозяйственным системам и выбранной стратегией управления системой. Правильность выбранных параметров оценивают в имитационной модели на основе критериальной функции, определяемой техническими величинами или экономическими показателями [74].

Имитационные модели можно использовать для решения любых проблем, связанных с водным хозяйством, когда отношения между переменными можно точно выразить с помощью математических и логических зависимостей. Чтобы получить имитационную модель, имеющую практическое значение, необходимо обеспечить для неё входные данные в необходимом объёме и за достаточно длительный период, чтобы дать возможность использовать динамические, а в ряде случаев и стохастические свойства имитационной модели [75].

Имитационная модель водохозяйственной системы считается динамической, если стратегия управления ею может динамически изменяться, и, если эти изменения сопровождаются также изменениями в требованиях к системе и обусловленными ими изменениями параметров системы.

По отношению к понятиям теории вероятностей имитационные модели подразделяются на детерминированные и стохастические. В действительности процессы в водохозяйственных системах имеют стохастический характер, поэтому Вепрек определяет имитацию (в узком значении этого слова) в соединении с методом Монте-Карло и с проблемами случайных процессов [73].

В общем виде процесс имитационного моделирования неустановившегося движения в реках и каналах можно представить как следующую последовательность:

- постановка задачи, что для имитационной модели является предметом системного анализа и предшествует собственно моделированию. Под постановкой подразумевается не одноразовый акт, намечающий цель, а процесс постоянного уточнения проблемы, начиная от словесного выражения и заканчивая выражением в технических количественных показателях;

- определение входов и выходов модели. В качестве входных данных для имитационной модели служат как данные, взятые из реальных условий, например, месячные расходы в системе гидрологических станций, так и параметры водохозяйственных объектов, существующих и вновь проектируемых [73, 76];

- описание водохозяйственной системы и её гидрологических связей, разработка модели. Описание водохозяйственной системы содержит прежде всего перечень элементов, включаемых в систему при проведении системного анализа или при разработке модели. Перечень элементов при создании имитационной модели, как правило, ограничивается количественно оцениваемыми элементами и соответствующими параметрами:

- входные параметры имитационной модели. Под входными параметрами понимаются лишь такие значения, которые могут быть изменены специалистом, например, проектные параметры водохранилища; объём воды, перекачиваемый из

одного водосборного бассейна в другой; значения минимальных уровней воды и некоторые ограничения, касающиеся её потребления. Имитационная модель не обеспечивает непосредственной оптимизации систем, поэтому оптимальное решение достигается путём многократных повторений расчёта с измененными параметрами. Изменения производят таким образом, чтобы улучшить значение критериальной функции;

- выбор условий эксплуатации водохозяйственной системы. При эксплуатации водохозяйственной системы требуется постоянно приспосабливать её функции к изменяющимся условиям. Речь идёт об очень сложной прогностической проблеме: чем подробнее эта задача исследуется, тем более процесс может отличаться от реальных условий. Однако и весьма ориентировочная оценка условий управления в системе может быть далека от действительных условий эксплуатации, которые должны быть учтены системой диспетчерского управления будущей водохозяйственной системы [76, 77];

- проверка правильности составления модели. Проверка адекватности имитационной модели относится к наиболее сложным методологическим проблемам при использовании имитационных методов. Проблема заключается в проверке достоверности того, что все наиболее важные свойства исследуемой системы, направленные на выполнение ею заданных функций и достижение поставленной цели, отражены в модели. Такой целью часто является предсказание определённых показателей, устанавливаемых планами развития водохозяйственных систем. Любой план основан на определённых допущениях, и изменение только одного условия или параметра может существенно отразиться на правильности результатов, полученных с помощью имитационной модели. В соответствии с тем, как изменяются реальные условия, будет изменяться и правильность модели, и её действенность. Таким образом, правильность модели – это относительное понятие, и её проверка – это не одноразовый процесс, а процесс, в ходе которого встречаются как совпадения, так и расхождения между фактическим объектом и моделью. Главная задача имитационной модели – результаты, полученные на ней, можно было использовать на каж-

дом этапе изменяющейся деятельности, а выводы, вытекающие из расчёта на имитационной модели, в дальнейшем только уточнялись и не приводили к противоположным последствиям.

1.3 Комплексный подход к проектированию и реконструкции оросительных систем

Современное сельскохозяйственное производство, как важнейшая отрасль хозяйственной деятельности, в значительной степени связано с обеспечением населения продуктами питания (Пищей), и по своей значимости в ряду главнейших проблем глобальной системы «Природа – Общество – Человек» стоит на третьем месте после проблем Энергии и Воды [78].

Системная причинно-следственная взаимосвязь проблем «Энергии» и «Воды» действует как в пространственных пределах биосферы Земли глобальной системы «Природа – Общество – Человек», так и на уровне локальных бассейновых геосистем, где формируются количественные и качественные показатели водных ресурсов, которые в значительных объёмах используются на оросительно-обводнительных системах сельскохозяйственного производства, что определяет их доминирующую роль над проблемой «Пищи» и соответственно других семи важнейших проблем.

На стадии проектирования оросительно-обводнительных систем как техногенный компонент рассматриваются во взаимосвязи взаимодействия и взаимоотношения с природной средой и проживающим населением в составе природно-технических систем, которые обуславливают собой характеризующее «экологическое состояние» в зонах влияния проектируемых систем [79, 80, 81]. Для обеспечения приемлемого экологического состояния как доминирующего фактора в формировании

нормативно допустимого уровня экологической безопасности в зонах влияния проектируемой оросительной системы, важным является определение объективных противоречий между применяемыми технологиями использования оросительной воды, естественными процессами преобразований в природной среде под воздействием техногенного компонента в виде мелиоративной системы и жизнедеятельностью проживающего населения [81, 82, 83].

Действующие в настоящее время оросительно-обводнительные системы проектировались и строились в первой и второй половинах XX в., когда внимания вопросам экологической безопасности и экономии водных ресурсов на стадии проектирования практически не уделялось. В настоящее время при реконструкции действующих и создании новых оросительных систем для удовлетворения современным экологическим требованиям ведутся комплексные исследования по разработке основ методологии оценки воздействия системы на природную среду и жизнедеятельность человека. Исследованиями установлено, что из многогранного комплекса вопросов, требующих глубокого изучения, наиболее важными являются вопросы, связанные с технологией использования водных ресурсов, созданием экологически приемлемых конструктивных решений, которые должны базироваться на новых идеях и системном подходе [83, 84].

Новые подходы в практике проектирования оросительных систем требуют новых идей, способствующих росту возможностей удовлетворения жизненно важных и необходимых потребностей нынешнего и будущих поколений в соответствии с законами природы и, как следствие, экологически устойчивого развития [79, 80].

Опыт использования водных ресурсов в сельскохозяйственном производстве, и, в частности, на оросительных системах определил перспективные направления для выдвижения новых идей [85]:

- идеи, связанные с использованием возобновляемых источников энергии в технологических процессах орошаемого земледелия;
- идеи, связанные с использованием рельефа в виде естественных перепадов между водоисточником и орошаемым участком;

– идеи, связанные с использованием новых материалов при создании новых конструкций дождевальных машин, внутрисистемных гидротехнических конструкций;

– идеи, связанные с использованием сточных вод животноводческих комплексов как вида отходов на орошаемых землях;

– идеи, связанные с использованием современных информационных технологий контроля режимов орошения и других внутрисистемных технологических процессов.

При реконструкции действующих и создании новых оросительных систем принципы экологической приемлемости на стадии проектирования рекомендуется рассматривать как своеобразную «копию» природной системы, в которой «происходят процессы преобразования форм «Энергии» с тенденцией снижения темпов роста энтропии [85].

1.4 Современные аспекты использования водных ресурсов на рисовых оросительных системах Ростовской области

Рис относится к культурам тропического происхождения. Это однолетнее теплолюбивое растение, которое лучше всего растёт на влажных и имеющих избыточную влажность почвах. Данная культура широко распространена как в жарком, так и в умеренном климате благодаря своей способности приспосабливаться к разнообразным условиям природной среды. Рис произрастает даже в более северных районах, но для этого используются высокопродуктивные скороспелые сорта [86].

В практической реализации выделяют и применяют четыре основных типа водного режима рисовых чеков: постоянное затопление, укороченное затопление, прерывистое затопление и периодическое увлажнение [87].

Первый тип подразумевает наличие постоянного затопления чеков, в таком варианте посеvy культуры находятся под слоем воды продолжительное время [88]. При таком водном режиме с наличием проточности оросительная норма риса по данным исследований меняется в диапазоне от 15 до 25 тыс. м³/га [88, 89], а в условиях производства и при неверно организованном водопользовании может достигать очень высоких показателей – 30–40 тыс. м³/га [89].

Результаты исследований подтверждают, что в большей степени биологическим особенностям риса удовлетворяет тип водного режима – укороченное затопление. Это объясняется тем, что увлажнённая почва является самой лучшей средой в фазы прорастания и всходов.

В последние годы развитие рисоводства в России имеет положительную динамику. Увеличивается объём валового производства зерна и крупы риса, совершенствуются технологии его переработки, расширяется ассортимент сортов и вырабатываемых из них продуктов, которые отвечают современным требованиям рынка [90].

В России из 85 регионов всего девять занимаются возделыванием риса. Лидером по валовым сборам является Краснодарский край, где в 2019 г. было собрано 805,6 тыс. т [91, 92]. На втором месте по валовым сборам Республика Дагестан – 95,6 тыс. т, на третьем месте Ростовская область – 84,6 тыс. т. В других регионах России данные по производству риса в 2019 г. в процентном соотношении представлены на рисунке 1.1.

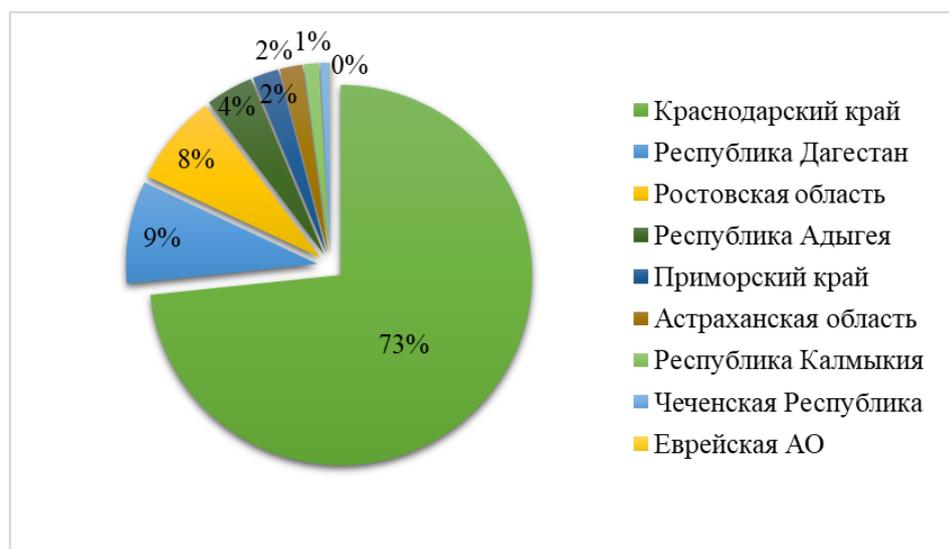


Рисунок 1.1 – Суммарное производство риса в РФ в доленом распределении [76]

Согласно данным, представленным на рисунке 1.1, Южный федеральный округ (ЮФО) стал лидером по площадям и валовым сборам риса. В 2019 г. объём валовых сборов риса в ЮФО составил 969 тыс. т. Это более 88 % от общего производства риса в России [93, 94, 95].

Площадь рисовых посевных площадей в Ростовской области составляет 14,2 тыс. га, что позволяет ей занимать третье место среди всех регионов России [95, 96]. Главными рисосеющими районами в 50–60-х годах были Семикаракорский, Пролетарский, Мартыновский, Багаевский и небольшие площади посевов риса были в Неклиновском и Матвеево-Курганском. Анализ производственных данных свидетельствует о высокой экономической эффективности возделывания риса на Нижнем Дону в десятилетний период с 1981 по 1990 г. Выращивание рисовой культуры производилось на площади около 24,5 тыс. га, при этом средняя урожайность была на уровне 3,5 т/га. Валовый сбор риса в среднегодовом разрезе – 83,4 тыс. т (1985–1985 гг.) и 89,7 тыс. т (1985–1990 гг.). Наиболее высокий показатель урожайности в 53 ц/га наблюдался в ОПХ «Пролетарское», что на 10 ц превышало запланированные показатели [97, 98]. В рассмотренный период рисовая отрасль в данном регионе имела рентабельность порядка 65 % и поэтому не вызывала сомнений в своей целесообразности [99].

Реформы, проводимые в 90-х годах, привели к тому, что на сегодняшний день область не занимает лидирующих позиций в возделывании и производстве рисовой крупы. Тем не менее, следует отметить, что в Ростовской области имеется положительная динамика роста посевных площадей. По справочным данным, в период 2000–2004 гг. было отмечено уменьшение посевных площадей на 33 % – с 13,0 до 8,7 тыс. га, но далее происходил постепенный рост, и в 2020 г. этот показатель составил 15 тыс. га. И, соответственно, это отразилось на величине валового сбора зерна, который увеличился на 31 % – с 44,5 до 65,1 тыс. т [96].

В данный период в Ростовской области самым крупным массивом рисосеяния является Манычский с посевной площадью 10,17 тыс. га [99]. Большая часть посевных площадей риса расположена в двух районах – Пролетарском и Мартыновском, в зоне орошения Пролетарского магистрального канала. На Манычском

массиве рис возделывают восемь хозяйств.

По данным [97], в 2020 г. Пролетарский район вошёл в тридцать лучших районов ЮФО по валовому сбору рисовой крупы и также остаётся главным производителем риса в области. В суммарном урожае в Ростовской области долевой объём рисовой крупы, произведённой в хозяйствах Пролетарского района, составляет порядка 65 %.

Стоит отметить, что, несмотря на высокую по производственным данным урожайность, сегодняшнее состояние рисоводческой отрасли в Ростовской области является менее эффективным, по сравнению с прошлыми годами. Такой результат обусловлен в первую очередь плохим мелиоративным состоянием орошаемых земель и низким техническим уровнем оросительных систем, особенно это касается внутрихозяйственной сети. Также не способствуют развитию отрасли большие затраты на возделывание и производство риса и низкие цены при его сбыте [97].

Основными проблемами большинства оросительных систем не только Ростовской области, но и России, являются нерациональное водопользование, ухудшение технического состояния основных производственных фондов вследствие износа и низкая эффективность системы водораспределения и водоучета.

Современные аспекты управления водопользованием на рисовых оросительных системах рассмотрены на примере Пролетарской оросительной системы, т. к. она является наиболее водоёмким мелиоративным объектом в Ростовской области. В зоне её влияния находятся основные посевные площади риса Ростовской области – 10 тыс. га.

Система включает магистральный канал и межхозяйственные распределители. Канал действует каждый год с третьей декады апреля по третью декаду октября, при этом общий объём водозабора, по данным эксплуатирующей организации, составляет около 650 тыс. м³ в год. Распределение воды выглядит следующим образом: орошение – 48 %; подпитка водохранилищ – 29,7 %; потери при транспортировке – 15 %; передача в другие системы – 7 %; заполнение прудов – 0,3 %.

В процессе исследований были проанализированы данные эксплуатацион-

ного режима Пролетарского канала за 2019 г., характеризующие оросительную систему, в том числе результаты наблюдений за режимом водного потока, которые будут использованы для верификации и калибровки цифровых моделей.

Согласно полученным данным, наполнение канала происходит в течение 20 дней в период с третьей декады апреля – момента открытия щитов на головном водозаборном сооружении Пролетарского канала, и до середины второй декады мая. Наблюдения за ежедневными уровнями и расходами выполняют в основном русле канала и на водовыпусках в определенные часы (обычно три раза в день: в 7:00, 13:00 и 19:00).

Наполнение происходит постепенно участками при закрытых затворах на водовыпусках и межхозяйственных распределителях.

На данном участке измерение гидрологических характеристик потока в основном русле магистрального канала производится на трех оборудованных водомерных постах – головное водозаборное сооружение, межхозяйственный распределитель ПР-1 и перегораживающее сооружение.

На рисунке 1.2 приведён график изменения расхода воды на головном водозаборном сооружении за весь период работы Пролетарского канала в 2019 г.

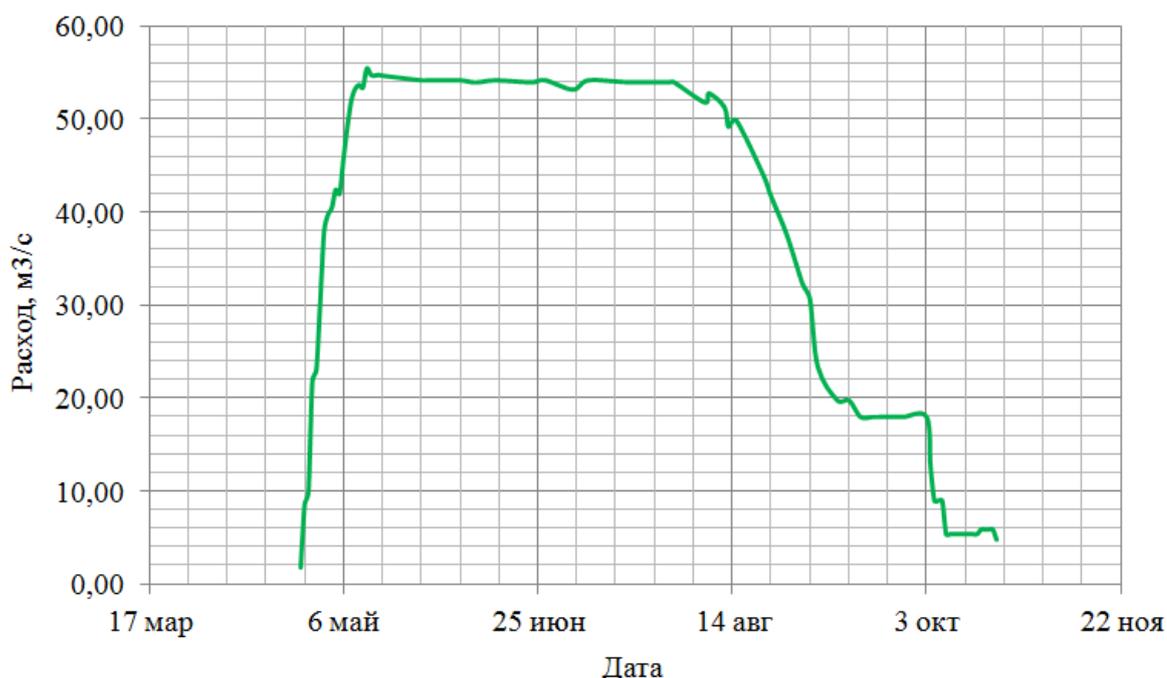


Рисунок 1.2 – График динамики расхода воды на головном водозаборном сооружении (данные ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»)

С первой декады мая по вторую декаду августа расход воды на головном водозаборном сооружении колеблется в пределах $54 \text{ м}^3/\text{с}$, график фиксирует небольшие скачки на протяжении данного периода наблюдений. С конца августа до первой декады сентября график расхода показывает тенденцию к снижению, фиксируя непродолжительные скачки, но затем снова приобретает характер падения. Представленные данные свидетельствуют о том, что в течение всего оросительного периода канал работает в форсированном режиме без какой-либо оперативной регулировки.

При проведении исследований для более детального анализа эксплуатационного режима рассмотрена часть объекта протяжённостью 30 км от головного сооружения до перегораживающего на ПК 1427. На исследуемом нами участке Пролетарской оросительной системы расположено 18 действующих водовыпусков (рисунок 1.3) с площадью орошения 22000 га. Почти половина этой площади (10250 га) обслуживается водовыпуском ПР-1, максимальный расход которого $24 \text{ м}^3/\text{с}$. Кодировка водовыпусков и максимальный расход по каждому представлены в таблице на рисунке 1.3.

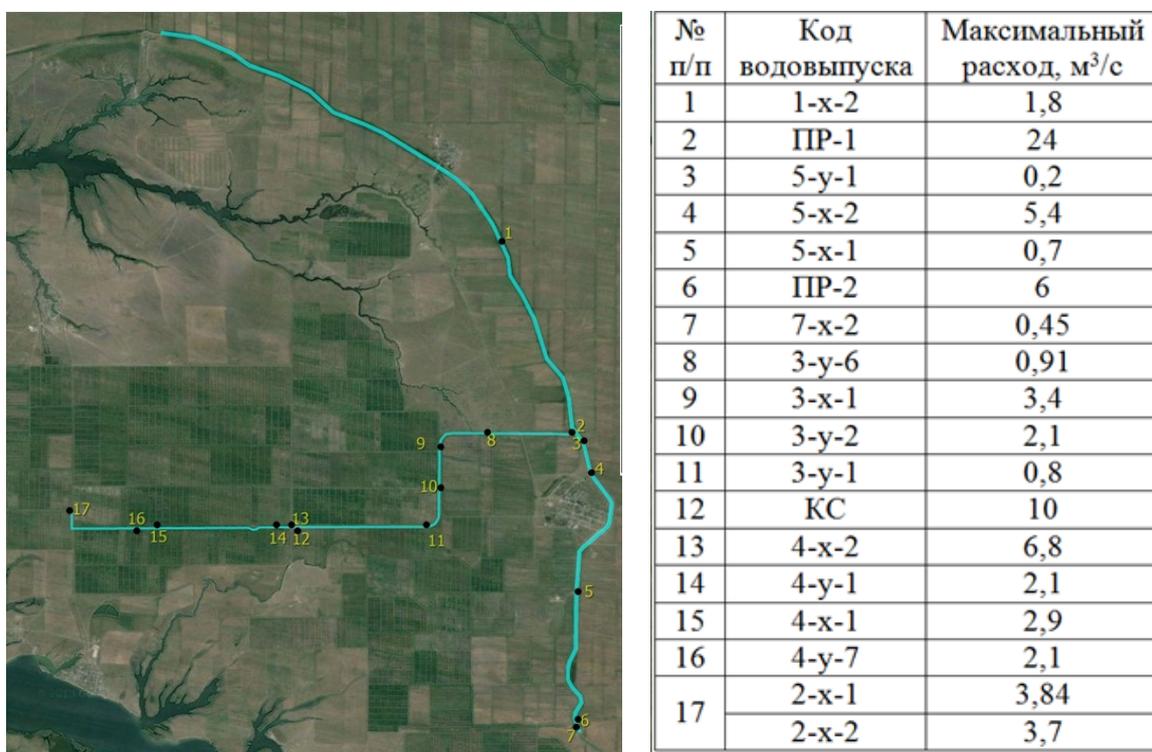


Рисунок 1.3 – Расположение водовыпусков на Пролетарской оросительной системе (космоснимок SAS.Planet)

Большая часть из представленных водовыпусков (10 шт.) расположена на канале ПР-1. Канал 4-х-2 с максимальной пропускной способностью $6,8 \text{ м}^3/\text{с}$ является вторым по величине после ПР-1, с подвешенной площадью 2100 га (рисунок 1.4).

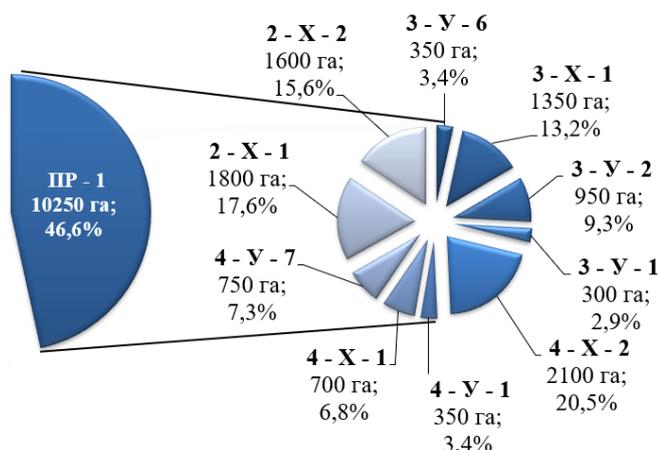


Рисунок 1.4 – Подвешенная площадь орошения к водовыпускам канала ПР-1 (данные Пролетарского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»)

Изучение водопользования и водораспределения не будет полным без информации об оросительных нормах возделываемых культур. Как было сказано выше, основной культурой возделывания на Пролетарской оросительной системе является рис, поэтому в данном случае рассмотрены его оросительные нормы. Ретроспективный анализ показал, что фактическая оросительная норма риса на протяжении всего ряда наблюдений колебалась в интервале от 20 до 40 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, т. е. колебание 50 % (рисунок 1.5) [100].

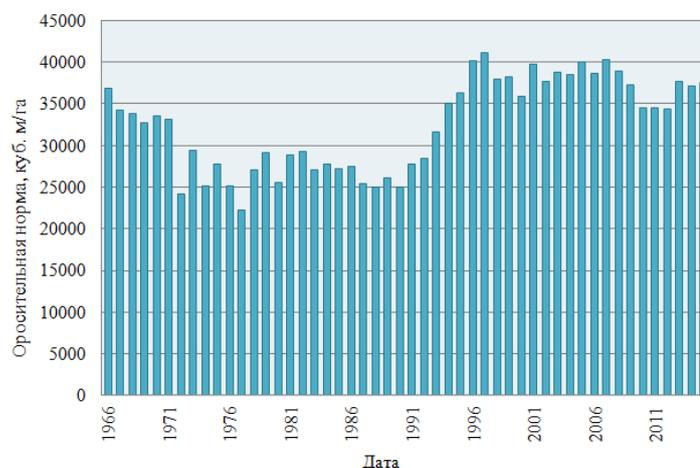


Рисунок 1.5 – Фактическая оросительная норма риса (данные Пролетарского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»)

В период с 70-го по 90-й год оросительная норма не превышала 30 тыс. м³/га, но, начиная с 1995 г. и по настоящее время, ниже 35 тыс. м³/га не опускалась и три года превышала 40 тыс. м³/га.

В процессе изучения оросительных норм по другим системам установлено, что они так же разнятся. В настоящее время утвержденные оросительные нормы риса отсутствуют. При расчёте подачи воды Пролетарским филиалом, который ведёт подачу воды хозяйствам-водопользователям Пролетарского и Мартыновского районов, используются данные, представленные в [101]. Согласно данной методике, средняя оросительная норма для Пролетарского массива должна составлять 22–23,5 тыс. м³/га, что не соответствует фактическим значениям.

Урожайность риса на всём протяжении наблюдений составляет в среднем 30–40 ц/га (рисунок 1.6). Минимальный показатель в 19 ц/га зафиксирован в 1996 г., при этом оросительная норма в том же году была наиболее высокой и составила 40 тыс. м³/га. Положительная динамика урожайности отмечена с 2000 г., когда она вернулась до среднего уровня и достигла максимума в 54 ц/га (2010 г.) [99].

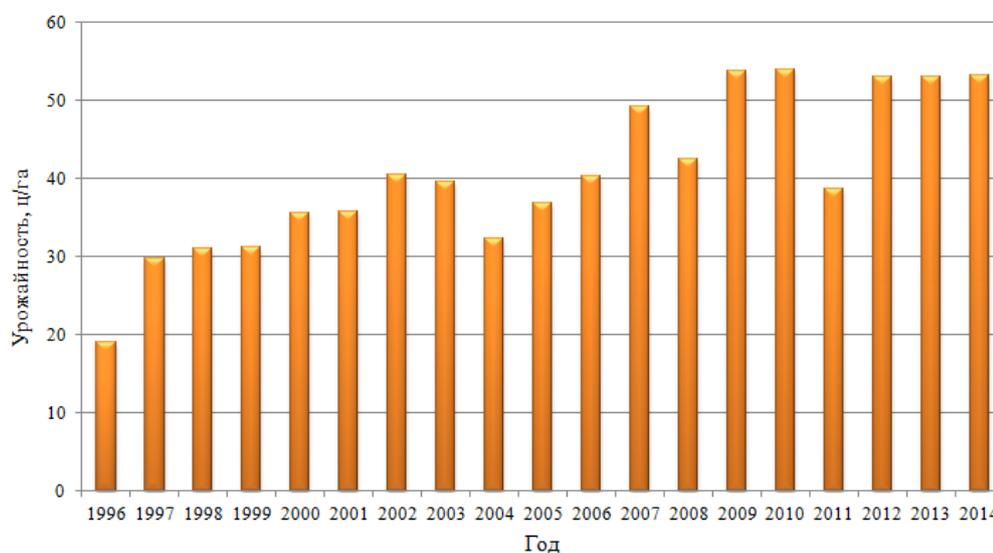


Рисунок 1.6 – Урожайность риса на Пролетарской оросительной системе (данные Пролетарского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»)

Данные по урожайности эксплуатирующая организация получает от хозяйств, которых сегодня на данной системе имеется большое количество (рисунок 1.7) [99].

Они рассредоточены по всей протяжённости канала, и, чтобы подать воду в самое дальнее, приходится поддерживать максимальные уровни в магистральном канале.

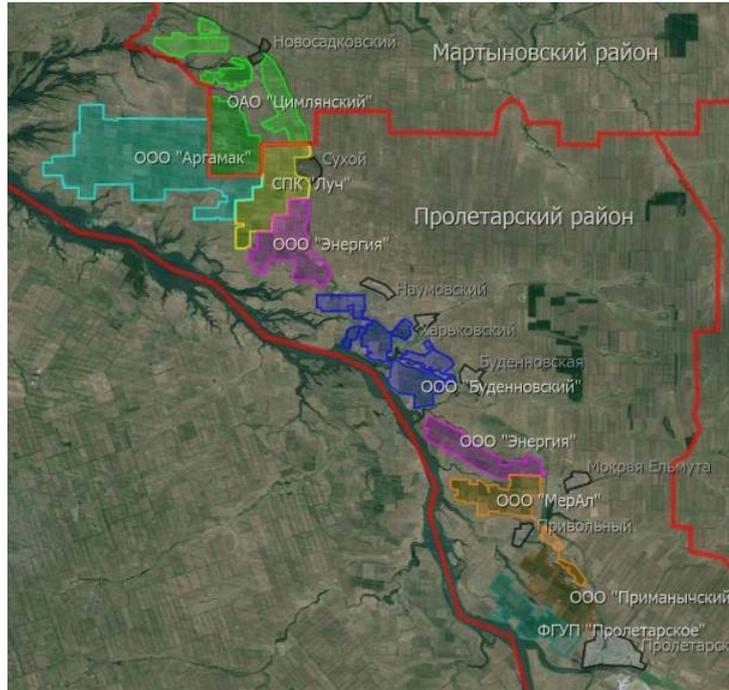


Рисунок 1.7 – Схема расположения хозяйств-водопользователей (космоснимок SAS.Planet)

Из 11 хозяйств половина всех орошаемых земель, обслуживаемых данной системой, сосредоточены в хозяйствах ООО «Аргамак» и ООО «Энергия». На них также приходится половина объёма водопотребления (рисунок 1.8) [102].

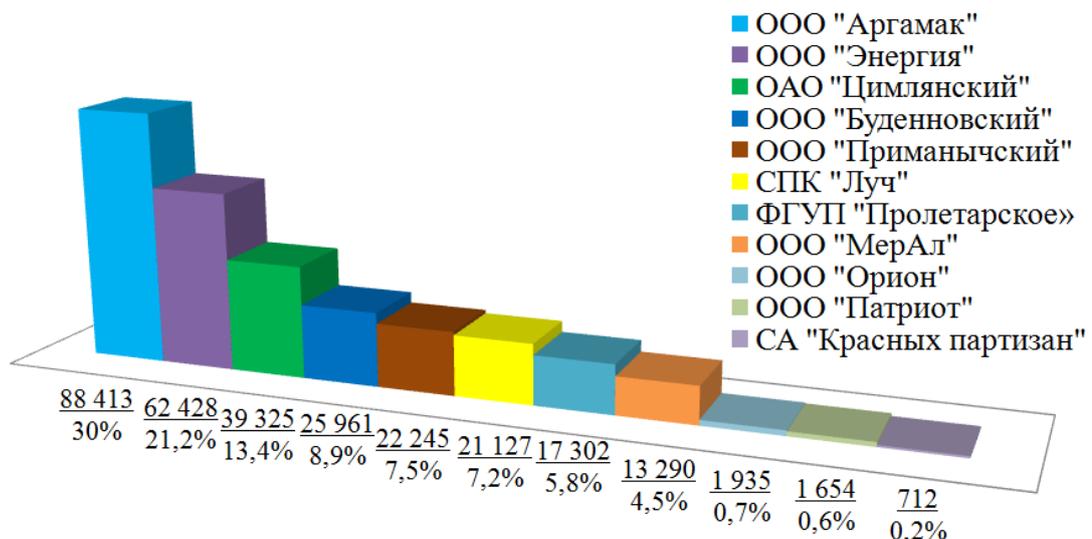


Рисунок 1.8 – Водопотребление хозяйств, нетто, тыс. м³ (данные Пролетарского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз», 2019 г.)

Подача воды в данные хозяйства осуществляется по сети второстепенных каналов, которые за время эксплуатации пришли в неудовлетворительное состояние с низким КПД.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. В результате анализа нормативно-методической и научно-технической литературы по проблемам использования водных ресурсов установлено, что, помимо износа оросительных систем, одним из основных отрицательных факторов является низкоэффективная степень использования забираемой воды из источника. Поэтому важнейшими задачами эксплуатации мелиоративных систем является разработка комплекса мероприятий по ликвидации или значительному уменьшению технологических потерь, в том числе за счёт устройства дополнительных регулирующих сооружений.

2. ГИС-технологии, используемые в сельском хозяйстве, не охватывают вопросы эксплуатации оросительных систем, которые являются основными для обеспечения рационального использования водных ресурсов. Моделирование как метод расчёта позволяет вычислять последствия какого-либо решения без проведения его на реальной системе, которую он воспроизводит, что может быть применено для проверки различных оптимизационных решений и схем как при проектировании, так и на существующих оросительных системах.

3. При реконструкции действующих и создании новых оросительных систем принципы экологической приемлемости на стадии проектирования рекомендуется рассматривать как своеобразную «копию» природной системы, в которой происходят процессы преобразования форм «энергии» с тенденцией снижения темпов роста энтропии.

4. По результатам обзора основных типов водного режима рисовых полей установлено, что в Ростовской области применяется укороченное затопление, которое в большей степени отвечает требованиям риса, но требует более высокой скорости регулировки подачи воды. Одним из вариантов повышения оперативности водоподдачи является разработка алгоритмов расчёта и корректировки объёмов водоподдачи на рисовые севообороты.

5. В результате анализа водораспределения на Пролетарской оросительной системе установлено, что общий объём водозабора за 2019 г. составляет около 650000 тыс. м³ в год. Основными статьями расхода воды из системы являются: орошение – 48 %; подпитка водохранилищ – 29,7 %; потери при транспортировке – 15 %; передача в другие системы – 7 %; заполнение прудов – 0,3 %. Использование оросительной воды осуществляется 11 хозяйствами, которые расположены по всей протяжённости системы.

ГЛАВА 2. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

2.1 Программа исследований

Для решения задач исследований выполнялось следующее:

- натурные обследования элементов оросительной системы и измерение морфометрических параметров каналов, перегораживающих сооружений, водовыпусков;
- водобалансовые исследования в чеках, лизиметрах и изучение расчётных методов эвапотранспирации;
- обоснование и разработка структуры геоинформационной базы данных для мелиоративных систем;
- разработка алгоритмов расчёта и корректировки объемов водоподачи на рисовой оросительной системе;
- создание компьютерной модели оросительной системы.

Натурное обследование Пролетарского канала (МК) было выполнено на 30-километровом участке основной ветви канала и на 15 км межхозяйственного распределителя ПР-1 (рисунок 2.1).

Цель полевых работ – геодезическая съёмка створов каналов и сооружений (водовыпусков). Полевые геодезические измерения проведены в соответствии с действующими нормативными документами [103–109].

Предварительно было выполнено рекогносцировочное обследование, в ходе которого выявлено, что в преобладающей части участка исследований наблюдается сильное зарастание берегов канала тростником, а на прилегающей территории (подлежащей съёмке) – древесно-кустарниковой растительностью, прямая видимость была частично ограничена.

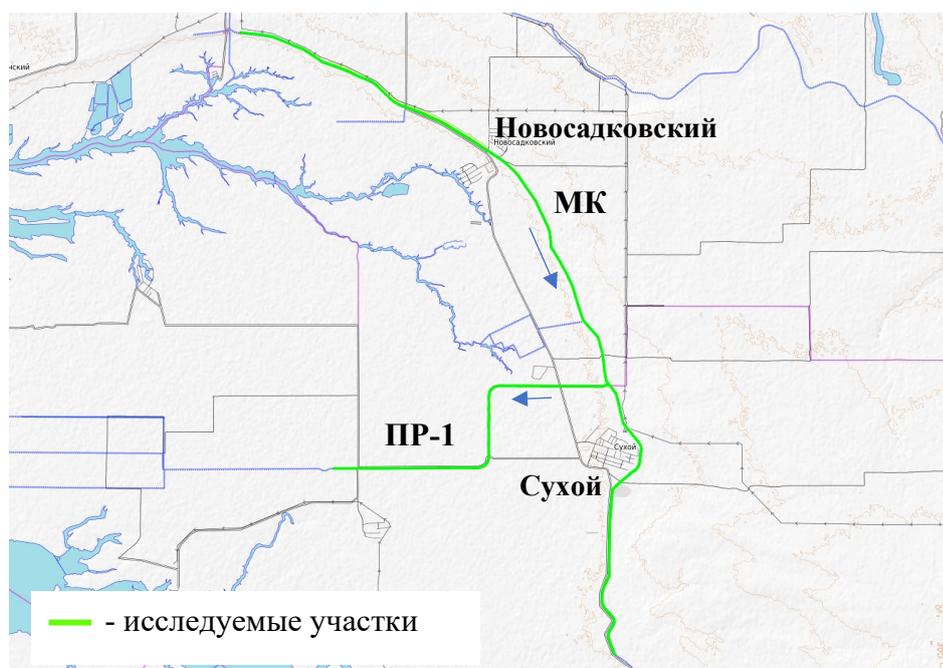


Рисунок 2.1 – План-схема участка исследований (изысканий)
(картографический материал SAS.Planet)

Результаты данного исследования позволили определить методики выполнения работ и перечень геодезических приборов, который включал:

- спутниковое оборудование глобального позиционирования (GNSS) Leica CS10 и Leica CS08 Plus с программным обеспечением Smart Worx Viva и приложения для полевых контроллеров;
- тахеометр электронный Sokkia-Topcon GTS 105N;
- нивелир электронный SDL 30 в комплекте с рейками со штрих-кодом;
- дальномер Leica Disto A5.

Спутниковое GNSS оборудование применялось для создания планово-высотной сети на отдельном участке с ограниченной видимостью. Затем от жёстких точек съёмочного обоснования для съёмки поперечных профилей оптическими методами использовался тахеометр и электронный нивелир. Дальномер, в основном, применялся для съёмки сооружений и водовыпусков.

Камеральная обработка геодезической съёмки была выполнена с помощью программного обеспечения «Autodesk AutoCAD Civil 3D». Поперечные профили канала построены в табличной форме в программе Microsoft Excel.

Водобалансовые исследования по изучению вопроса водопотребления риса проводились в чеках на Нижне-Маньчской рисовой оросительной системе в хозяйстве ООО «Маньч-Агро». Водопотребление риса в гидрологических лизиметрах изучалось на полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ». Для решения поставленных задач был организован один полевой опыт, который включал два варианта.

Вариант 1. Изучение водопотребления риса в рисовых чеках (К).

Вариант 2. Изучение водопотребления риса в гидрологических лизиметрах (далее лизиметрах).

Дополнительно было выполнено изучение и анализ расчётных методов эвапотранспирации по метеопараметрам.

Исследования водопотребления риса проводились по трём способам (в трёх вариантах). В варианте 1 (контрольном) проводились исследования по изучению вопроса водопотребления риса в чеках на Нижне-Маньчской рисовой оросительной системе в агрохозяйстве ООО «Маньч-Агро». Наблюдения проведены в пяти повторностях при водном режиме орошения риса – укороченное затопление по методике З. Ф. Туляковой (ЮжНИИГиМ). Весной зябь обработали чизель-культиватором на глубину 10–12 см, затем планировщиком вносили минеральные удобрения ($N_{250} P_{250}$) под культивацию. Сразу же после прикатывания почвы, чеки затапливались слоем воды 8–10 см по мерной рейке. Вода постепенно расходовалась на насыщение почвы до полной влагоёмкости, вертикальную и горизонтальную фильтрацию, а также на испарение с водной поверхности.

При наклёвывании семян риса остаток воды с чеков был сброшен и всходы получали без слоя воды. В фазу двух листьев против осоковых сорняков вносили гербицид Корсар, ВРК (3 л/га).

После получения полных всходов произвели затопление посевов риса водой слоем 3–5 см, который постепенно повышали по мере роста риса и поддерживали на уровне 2/3 высоты растений. В фазу кущения вода сбрасывалась и вносили против просовидных сорняков гербицид Сегмент, ВДГ (0,03 кг/га). После кущения риса слой воды доводился до 12–14 см и так поддерживался до восковой спелости. В конце восковой спелости оставшаяся вода из чеков сбрасывалась, чеки подсуши-

вались. При наступлении полной спелости определялся биологический урожай риса по пробным площадкам, одновременно отбирались образцы риса-сырца на влажность и засоренность.

Испарение и потери воды в м³/га по фазам и периодам определялись методом пересчёта, данные по транспирации переводились в мм.

На рисовых участках ООО «Маньч-Агро» изучались водно-физические и физико-химические свойства почв под различными культурами рисового севооборота. Такие данные необходимы для расчётов норм водопотребления риса, сопутствующих культур и норм водоотведения с рисовых оросительных систем.

Отбор почвенных образцов для анализа проведён на трёх чеках: рис, паровое поле и подсолнечник по слоям 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см и т. д. до уровня залегания грунтовых вод.

В отобранных почвенных образцах в эколого-аналитической лаборатории ФГБНУ «РосНИИПМ» проведены следующие виды анализов по гостированным методикам на определение гранулометрического состава; микроагрегатного состава; состава водной вытяжки; обменных оснований.

Оценка свойств почв проводилась по общепринятым классификациям [110]. Установление фенологических фаз растений риса, а также наблюдения за ростом и развитием, учёт урожая риса проводили согласно существующей методике [111]. Агротехника риса и сопутствующих культур соблюдалась согласно системе земледелия в Ростовской области [112].

Во втором варианте изучалось водопотребление риса в гидрологических лизиметрах на полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ» в пяти повторностях, площадь лизиметра – 0,385 м², глубина – 0,65 м, объём – 0,25 м³. Научный полигон ФГБНУ «РосНИИПМ» и ООО «Маньч-Агро» определены в качестве репрезентативных участков, характерных для рисовых систем Ростовской области.

Моделировалось орошение по укороченному затоплению риса. В опыте использовались лизиметры с монолитами, отобранными в рисовом чеке с уже посеянным рисом сорта Флагман (ООО «Маньч-Агро»). Лизиметры устанавливали в почве на соответствующей глубине [113, 114, 115, 116].

Слой воды в лизиметрах поддерживался постоянный с начала фазы кущения и до созревания и составлял 10 см [110].

На опытной водобалансовой площадке измерялось испарение и осадки. Испарение измерялось в испарителе, осадки с помощью осадкомера. Во время проведения эксперимента был подготовлен журнал, в котором фиксировались пентадные наблюдения за изменением уровня воды. Также по методу Л. И. Иванова [117] изучалась интенсивность транспирации срезанных листьев. При помощи торсионных весов измерялась масса срезанного транспирирующего листа за короткие промежутки времени. Это даёт возможность наблюдать транспирацию при том состоянии насыщения листа водой, в каком он находился на растении.

В третьем варианте использовались расчётные методы определения норм водопотребности на основании результатов, полученных в исследованиях по вариантам 1 и 2. Также в процессе работы был выполнен анализ и обобщение результатов ранее проведённых исследований в научных и эксплуатационных организациях (ЮжНИИГиМ, РосНИИППМ, ФГБУ «Кубаньмелиоводхоз», «Ростовмелиоводхоз»).

Изучение эксплуатационной организации Пролетарской оросительной системы выявило несколько важных проблем, одной из которых является архаичная система хранения эксплуатационных данных. Данное обстоятельство существенно влияет на оперативность и точность при планировании водопользования и управлении водораспределением. Для решения этой проблемы в рамках исследования разработана структура базы данных оросительной системы в геоинформационной программе MapInfo Professional.

Алгоритмы расчёта и корректировки объёмов водоподачи разработаны в программной оболочке Microsoft Office Excel.

Компьютерная модель оросительной системы с учётом её фактического состояния разработана в программном комплексе MIKE 11. В модели использованы топографические, гидротехнические и гидрологические данные.

Геометрия канала описана поперечными сечениями, общее количество которых составило 52 шт. Модель разработана с учётом действующих водовыпусков и перегораживающих сооружений. Общее количество сооружений, внесённых в мо-

дель, составило девять. Шесть сооружений задано описанием геометрических параметров и режимом работы затворов на основании данных, полученных из эксплуатационной организации. В журнале наблюдений пять раз в сутки фиксируются данные о режиме работы сооружений, при этом фактическая перерегулировка осуществляется в большинстве случаев один раз в сутки. Это значение было учтено при моделировании.

Исходными гидрологическими данными модели являются уровни воды в следующих створах: верхний бьеф головного сооружения; нижний бьеф перегораживающего сооружения на ПК 1427; нижний бьеф перегораживающего сооружения на ПР-1 ПК 120; нижний бьеф перегораживающего сооружения на 4-х-2; нижний бьеф перегораживающего сооружения на ПР-2.

Согласно СП 100.13330.2016 «Мелиоративные системы и сооружения», коэффициент шероховатости канала принят равным 0,0225.

2.2 Гидрометеорологические и почвенные условия в зоне проведения исследований

Климат района исследований формируется под влиянием циклонической деятельности воздушных масс. Зимой и летом преобладают континентальные умеренные воздушные массы. Увлажнение неустойчивое. Среднегодовая температура воздуха составляет около плюс 8,4 °С. Сумма среднесуточных температур за период активной вегетации 3214 °С. Среднемесячная температура воздуха в январе – минус 6,3 °С [118]. Безморозный период колеблется в интервале 175–180 дней. Большая часть осадков выпадает в тёплый период (255 мм). Сумма осадков за год составляет в среднем 409 мм. Территория относится к засушливой зоне с коэффи-

циентом увлажнения 0,33–0,44. В среднегодовом разрезе преобладают ветры восточных направлений. Средняя годовая скорость ветра составляет около 5,0 м/с. При этом средние месячные значения иногда доходят до 6,0 м/с в феврале, марте и уменьшаются до 3,7 м/с в сентябре. В тёплый период часто наблюдаются суховеи.

Почвы в ООО «Маньч-Агро» представлены в основном лугово-чернозёмными видами, т. к. подвергались периодическому затоплению паводковыми водами. Кроме этого, при первоначальном затоплении рисового поля и сброса воды для прорастания семян, уровни грунтовых вод приближаются к поверхности и обнаруживаются уже на глубине 0,6–0,8 м. До затопления их уровни находятся на глубине от 1,5 до 2,0 м. После сброса воды с чеков уровень грунтовых вод снижается, но не всегда достигает исходного состояния до затопления. При правильном севообороте, когда возделываются и другие культуры, особенно люцерна, уровень грунтовых вод приближается к первоначальному состоянию, которое было до посева риса (2,0–2,5 м). Почвы, образцы которых отобраны на мелиоративном поле, на рисе после затопления и на подсолнечнике, имеют одинаковый химизм засоления – хлоридно-сульфатный ($Cl:SO_4 > 1$), с глубиной – сульфатный ($Cl:SO_4 < 0,2$) (таблица 2.1).

По степени засоления – это разновидности незасоленных и слабозасоленных почв. Слабое засоление в основном обнаруживается в гипсоносных слоях. Такой химизм засоления не способствует образованию щёлочности и содообразованию. Это подтверждают результаты определения щёлочности.

Однако данные состава водорастворимых солей и почвенного поглощающего комплекса (ППК) свидетельствуют о наличии магниевой солонцеватости в некоторых слоях при полном отсутствии натриевой. Наличие поглощённого магния оказывает отрицательное влияние на структуру. Низкое содержание кальция по почвенному профилю, кроме гипсоносных слоёв, указывает на деградацию этих почв, как химическую, так и физическую [119].

Характеристика оросительной воды, используемой для орошения рисовых полей в ООО «Маньч-Агро», представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Физико-химические свойства почв рисовых севооборотов ООО «Маньч-Агро»

Культура	Слой, см	Отношение ионов Cl:SO ₄ , ммоль/100 г почвы	Химизм засоления	Сумма солей, %	Степень засоления	Щелочность HCO ₃ – Ca + Na + Mg, ммоль/100 г почвы	Степень щелочности	% от суммы ППК			Степень солонцеватости	Примечание
								Ca	Mg	Na		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Рис	0–20	0,9	Cl–SO ₄	0,162	Незасоленные	Ca > HCO ₃	Нещелочные	71	28	1	Несолонцеватые	–
	20–40	2,4	SO ₄ –Cl	0,135	Слабая	0,16	Нещелочные	73	26	1	То же	–
	40–60	0,10	SO ₄	0,606	Незасоленные	Ca > HCO ₃	Нещелочные	78	21	1	То же	–
	60–80	0,03	SO ₄	1,341	Средняя	Ca > HCO ₃	Нещелочные	95	4	1	То же	Гипсоносный слой
	80–100	0,05	SO ₄	1,142	Слабая	Ca > HCO ₃	Нещелочные	80	19	1	То же	Гипсоносный слой
	0–100	–	–	–	0,677	Незасоленные	Ca > HCO ₃	Нещелочные	79	20	1	То же

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Мелиоративное поле	0–20	1,3	Cl–SO ₄	0,158	Незасоленные	Ca > HCO ₃	Нещелочные	61	38	1	То же	–
	20–40	1,6	SO ₄ –Cl	0,117	Слабая	0,24	Нещелочные	58	41	1	То же	–
	40–60	3,2	SO ₄ –Cl	0,113	Слабая	Ca > HCO ₃	Нещелочные	89	10	1	То же	Гипсоносный слой
	60–80	> 1	SO ₄ –Cl	0,102	Незасоленные	0,84	Слабощелочные	64	35	1	То же	–
	80–100	> 1	SO ₄ –Cl	0,106	Незасоленные	Ca > HCO ₃	Нещелочные	77	22	1	То же	–
	0–100	–	SO ₄ –Cl	0,119	Слабая	0,22	Нещелочные	70	29	1	То же	–
Подсолнечник		> 1	SO ₄ –Cl	0,129	Слабая	0,20	Нещелочные	79	20	1	То же	–
		> 1	SO ₄ –Cl	0,130	Слабая	0,88	Слабощелочные	75	24	1	То же	–
		> 1	SO ₄ –Cl	0,124	Слабая	0,48	Нещелочные	66	33	1	То же	–
		> 1	SO ₄ –Cl	0,114	Средняя	0,40	Нещелочные	69	29	1	То же	–
	80–100	0,04	SO ₄ –Cl	1,225	Слабая	Ca > HCO ₃	Нещелочные	91	8	1	То же	Гипсоносный слой
	0–100		SO ₄ –Cl	0,344	Слабая	Ca > HCO ₃	Нещелочные	76	23	2	То же	–

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ме- лио- ра- тив- ное поле после пла- ни- ровки	0–20	0,6	Cl–SO ₄	0,254	Слабая	Ca > HCO ₃	Нещелочные	65	33	2	То же	–
	20–40	0,06	SO ₄	1,223	Сильная	Ca > HCO ₃	Нещелочные	89	10	1	То же	Гипсонос- ный слой
	40–60	0,06	SO ₄	1,251	Сильная	Ca > HCO ₃	Нещелочные	92	7	1	То же	Гипсонос- ный слой
	60–80	0,34	Cl–SO ₄	0,361	Слабая	Ca > HCO ₃	Нещелочные	63	35	2	То же	–

Таблица 2.2 – Качество оросительной воды (ООО «Маныч-Агро»)

Дата отбора	Минерализация воды, г/дм ³	Класс воды	Оценка воды по степени опасности развития процессов							
			хлоридного засоления		натриевого осолонцевания		магниевого осолонцевания		содообразования	
			Cl ⁻	класс	Ca ²⁺ / Na ⁺	класс	Mg ²⁺ / Mg ²⁺ + Ca ²⁺	класс	(CO ₃ ²⁻ +HCO ₃) – (Ca ²⁺ +Mg ²⁺)	класс
Май	0,771	II	1,6	I	0,68	III	0,46	II	1,48	I
Август	0,664	II	2,4	II	0,43	IV	0,48	II	0,22	I

По минерализации, по опасности хлоридного засоления и магниевой солонцеватости вода относится ко II классу, а по степени опасности натриевого осолонцевания – к III классу. Это указывает на то, что оросительная вода может оказывать неблагоприятное воздействие на плодородие почв, особенно в развитии процессов магниевого и натриевого осолонцевания.

Физические свойства почв представлены в таблице 2.3, из которой видно, что обследуемые почвы по слоям различны по гранулометрическому составу, что характерно для пойменных земель.

Таблица 2.3 – Физические свойства почв в рисовых севооборотах

Культура	Слой, см	Гранулометрический состав		Коэффициент дисперсности		Плотность сложения почвы		Порозность	
		физическая глина, %	оценка	значение	оценка	т/м ³	оценка	%	оценка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рис	0–20	45	Ср	19	Хорошая	1,26	Уплотнена	51	Удовлетворительная
	20–40	43	Ср	15	Хорошая	1,31	Сильноуплотнена	49	Неудовлетворительная

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	40–60	24	Сл	19	Хорошая	Не определялось			
	60–80	6	Псв	> 60	Весьма низкая	Не определялось			
	80–100	6	Псв	> 60	Весьма низкая	Не определялось			
	0–40	44	Сср	17	Хорошая	1,29	Сильно уплотнена	50	Удовлетворительная
Мелиоративное поле	0–20	26	Сср	28	Удовлетворительная	1,30	Сильно уплотнена	49	Неудовлетворительная
	20–40	36	Сср	16	Хорошая	1,38	Сильно уплотнена	47	Неудовлетворительная
	40–60	44	Сср	15	Хорошая	Не определялось			
	60–80	48	Ст	16	Хорошая	Не определялось			
	80–100	46	Ст	18	Хорошая	Не определялось			
	0–40	31	Сср	22	Хорошая	1,34	–	48	–
Подсолнечник	0–20	38	Ст	23	Хорошая	1,22	Уплотнена	52	Удовлетворительная
	20–40	56	Ст	17	Хорошая	1,25	Сильно уплотнена	51	Удовлетворительная
	40–60	60	Ст	11	Высокая	Не определялось			

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	60–80	60	Ст	16	Хорошая	Не определялось			
	80–100	8	Псв	> 60	Весьма низкая	Не определялось			
	0–40	47	Ст	20	Хорошая	1,24	Сильно уплотнена	51	Удовлетворительная
Мелиоративное поле после планировкой	0–20	45	Сср	14	Высокая	Не определялось			
	20–40	7	Псв	> 60	Весьма низкая	Не определялось			
	40–60	4	Пр	> 60	Весьма низкая	Не определялось			
	60–80	45	Ст	6	Высокая	Не определялось			
	0–40	26	Сл	> 60	Весьма низкая	Не определялось			

Верхний 40-сантиметровый слой на всех отобранных точках представлен суглинком, но на поле с рисом и мелиоративном поле – это суглинок средний (Сср), а на подсолнечнике уже суглинок тяжёлый (Ст). Нижние слои ещё более разнообразны по гранулометрическому составу, чем пахотные. Здесь появляются суглинки лёгкие (Сл), песок связный (Псв) и песок рыхлый (Пр).

При гранулометрическом анализе почву диспергируют, т. е. разрушают макроагрегаты и микроагрегаты, разделяя их на элементарные частицы [120].

Микроагрегатный состав позволяет оценить устойчивость микроструктуры, поэтому при выполнении этого анализа в почве разрушаются макроагрегаты, но при этом сохраняют микроагрегаты. По соотношению илов гранулометрического и микроагрегатного составов даётся количественная оценка микроагрегированно-

сти почв. Нами эта оценка проводилась по коэффициенту дисперсности по Качинскому [121].

Как показывают расчёты, коэффициент дисперсности в верхних 0–40-сантиметровых слоях он составляет от 17 до 20, что свидетельствует, согласно классификации, о хорошей микроструктурности. В тех слоях, где гранулометрический состав представлен песком, коэффициент дисперсности больше 60, что соответствует весьма низкой микроструктурности. По плотности сложения пашня на всех обследуемых полях сильно уплотнена (от 1,29 т/м³ на рисе до 1,34 т/м³ на мелиоративном поле). Отсюда, удовлетворительная и неудовлетворительная порозность. С ухудшением почвенных свойств наблюдаются потери гумуса, и снижается обеспеченность почв питательными элементами. Агрохимические свойства в рисовых севооборотах представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Агрохимические свойства почв в рисовых севооборотах

ООО «Маньч-Агро»

Культура	Слой, см	Гумус		Азот нитратный		Фосфор		Калий	
		%	Обеспеченность	мг/кг	Обеспеченность	мг/кг	Обеспеченность	мг/кг	Обеспеченность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рис	0–20	2,48	Низкая	24,8	Очень высокая	58,8	Высокая	475	Очень высокая
	20–40	2,25	Низкая	17,8	Высокая	48,7	Высокая	492	Очень высокая
	40–60	1,41	Очень низкая	11,8	Средняя	20,7	Средняя	447	Очень высокая
	60–80	0,60	Очень низкая	11,7	Средняя	7,46	Очень низкая	423	Очень высокая
	80–100	0,65	Очень низкая	11,2	Очень низкая	10,79	Низкая	210	Повышенная
	0–40	2,37	Низкая	21,1	Очень высокая	53,74	Высокая	483	Очень высокая

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мелиоративное поле	0–20	2,35	Низкая	27,1	Очень высокая	30,2	Средняя	543	Очень высокая
	20–40	2,10	Низкая	26,5	Очень высокая	36,7	Высокая	696	Очень высокая
	40–60	0,81	Очень низкая	15,7	Повышенная	24,0	Средняя	711	Очень высокая
	60–80	0,83	Очень низкая	11,1	Средняя	16,8	Средняя	386	Высокая
	80–100	0,58	Очень низкая	11,5	Средняя	18,6	Средняя	274	Повышенная
	0–40	2,23	Низкая	26,9	Очень высокая	33,65	Высокая	621	Очень высокая
Подсолнечник	0–20	2,20	Низкая	35,9	Очень высокая	37,8	Высокая	491	Очень высокая
	20–40	1,03	Очень низкая	15,1	Повышенная	13,7	Низкая	471	Очень высокая
	40–60	0,74	Очень низкая	10,1	Средняя	9,1	Очень низкая	268	Повышенная
	60–80	0,63	Очень низкая	9,6	Средняя	8,2	Очень низкая	323	Высокая
	80–100	0,54	Очень низкая	9,9	Средняя	7,6	Очень низкая	353	Высокая
	0–40	1,62	Очень низкая	25,5	Очень высокая	25,75	Средняя	481	Очень высокая
Мелиоративное поле после планировки	0–20	3,65	Низкая	30,9	Очень высокая	58,8	Очень высокая	782	Очень высокая
	20–40	0,77	Очень низкая	16,4	Высокая	46,1	Очень высокая	604	Очень высокая
	40–60	0,65	Очень низкая	11,1	Средняя	70,9	Очень высокая	329	Высокая
	60–80	0,45	Очень низкая	14,8	Средняя	71,3	Очень высокая	466	Очень высокая

Содержание азота нитратного во всех точках отбора в слое 0–40 см соответствует очень высокой обеспеченности. Содержание калия соответствует очень высокому содержанию на всех полях. Высоко обеспечены фосфором подвижным в верхнем пахотном слое поле под рисом и мелиоративное поле.

2.3 Результаты натуральных обследований

Характеристики Пролетарского магистрального канала (ПМК): длина – 83,4 км, ширина канала по дну – 4 м, глубина – 4,5–5 м, сечение русла – полигональное, пропускная способность – $54 \text{ м}^3/\text{с}$, уклон дна – 0,00004, коэффициент шероховатости русла – 0,035 (определен по результатам натуральных исследований). Канал проходит в земляном русле. Вода в ПМК подаётся самотёком через шлюз-регулятор [122].

Магистральный канал совместно с сетью межхозяйственных каналов общей протяжённостью 3421,3 км образует Пролетарскую оросительную систему (ПОС).

Согласно программе исследований, в полевых условиях было выполнено следующее:

- произведены рекогносцировочные обследования каналов и гидротехнических сооружений (водовыпусков и перегораживающих сооружений);

- создана геодезическая планово-высотная съёмочная сеть с закреплением жёстких точек и привязкой её к исходным пунктам (Приложения А, рисунок А 1). Определение абсолютных отметок производилось с использованием методов глобального спутникового позиционирования от пунктов государственной геодезической сети;

- проведена съёмка поперечных профилей участка ПМК и ПР-1. Планово-высотное положение характерных точек дна в створах определялось проложением

нивелирных ходов вдоль русловых участков и съёмкой поперечников русла с промером глубин;

– выполнены обмерные работы водовыпусков на ПМК и ПР-1.

Выполненные полевые исследования на участке изысканий выявили следующие негативные факторы, характеризующие текущее состояние данного объекта: оплывы откосов канала, интенсивное зарастание откосов канала водной растительностью, просадки и смещения плит крепления на участках крепления откосов бетонными плитами и следы эрозии на бетонных поверхностях. Фотоматериал по результатам обследования представлен в приложении А, (рисунок А 2).

Все эти факторы приводят к изменению геометрических параметров русла канала: изначально трапецеидальное сечение канала стремится к параболическому профилю. Это негативно сказывается на его пропускной способности и, как следствие, приводит к уменьшению КПД [123].

На участке канала ПР-1 было исследовано три водовыпуска, необходимых для создания цифровой модели: катастрофический сброс ПР-1 и водовыпуски каналов 4-Х-2 и 4-У-1. Полив на орошаемых участках водовыделов 4-Х-2 и 4-У-1 осуществляется в самотёчном (безнапорном) режиме в сторону понижения рельефа местности.

В результате изысканий проведена съёмка 52 поперечных профилей на исследуемом участке: 27 поперечных профилей русла Пролетарского канала, включая сечения Головного и Перегораживающего сооружений, 20 поперечных профилей на ПР-1, пять поперечных профилей на водовыпусках и межхозяйственных распределителях (рисунок 2.1) [123].

Камеральная обработка полученных материалов была выполнена в специализированном программном обеспечении «Autodesk AutoCAD Civil 3D». В дальнейшем, в среде средств цифрового компьютерного моделирования MIKE 11. Результаты изысканий представлены в виде таблиц и графиков Microsoft Excel (рисунок 2.2).



Рисунок 2.1 – План-схема поперечных сечений на исследуемом участке ПМК (космоснимок SAS.Planet)

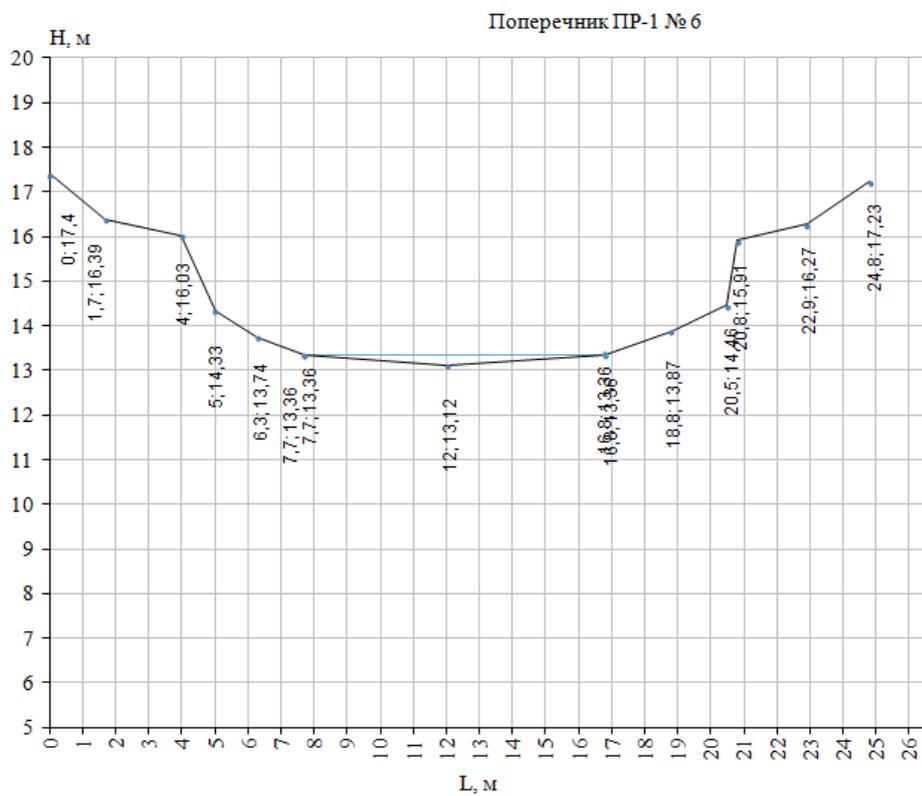


Рисунок 2.2 – Поперечный профиль Пролетарского канала (ПР-1 № 6)

Геодезические измерения проводились весной, т. к. в этот период времени канал не функционирует. Во время проведения работ практически на протяжении всего исследуемого участка в русле наблюдался уровень воды порядка 0,5 м. На момент проведения изысканий на канале проводилась реконструкция, но она не коснулась участка проводимых нами изысканий.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. По результатам геодезических измерений проведена съёмка поперечных профилей и мест водозаборов и русел каналов на исследуемых объектах. Измерено 27 профилей магистрального канала и 15 поперечных профилей межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов. Произведены обмерные работы на двух перегораживающих сооружениях магистрального канала и шести водовыпусках межхозяйственного распределителя.

2. В качестве репрезентативных участков, характерных для рисовых систем Ростовской области, выбран научный полигон ФГБНУ «РосНИИПМ» и ООО «Маньч-Агро». Оба участка находятся в Багаевском районе и являются идентичными по климатическим условиям. Почвы ООО «Маньч-Агро» представлены, в основном, лугово-чернозёмными видами, т. к. подвергались периодическому затоплению паводковыми водами. Кроме этого, при первоначальном затоплении рисового поля и сброса воды для прорастания семян, уровни грунтовых вод приближаются к поверхности и обнаруживаются уже на глубине 0,6–0,8 м. До затопления их уровни находятся на глубине от 1,5 до 2,0 м. Почвы, образцы которых отобраны на мелиоративном поле, на рисе после затопления и на подсолнечнике, имеют одинаковый химизм засоления – хлоридно-сульфатный ($Cl:SO_4 > 1$), с глубиной – сульфатный ($Cl:SO_4 < 0,2$). По степени засоления – это разновидности незасоленных и

слабозасоленных почв. Слабое засоление в основном обнаруживается в гипсоносных слоях.

3. В качестве объекта разработки компьютерной модели выбрана Пролетарская оросительная система, которая используется для орошения рисовых севооборотов. Установлено, что её техническое состояние является неудовлетворительным и поэтому требуется уточнение гидравлических характеристик для дальнейших эксплуатационных решений.

4. Установлено, что район исследований расположен в зоне засушливого климата. Сумма среднесуточных температур за период активной вегетации составляет 3214 °С. Почвы представлены в основном лугово-чернозёмными видами. По степени засоления – это разновидности незасоленных и слабозасоленных почв.

ГЛАВА 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

3.1 Проект структуры базы данных для мелиоративных систем

Структура базы данных разработана на основе массива данных, характеризующих техническое состояние оросительной системы и её эксплуатационный режим. В эксплуатационной организации такие данные представлены в текстовом и графическом форматах без географической привязки к местности (Приложение А, рисунок А 3). Это обстоятельство весьма затрудняет процесс инвентаризации сооружений и планирования водопользования.

Пролетарского филиала ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»

В результате анализа массива полученных данных была разработана структура геоинформационной базы данных, которая позволила упорядочить имеющиеся материалы с учётом географической привязки к местности (рисунок 3.1).

В разработанной структуре базы данных имеется пять основных блоков, каждый из которых подразделяется на дополнительные элементы.

Первый блок – это картографическая основа, которая необходима для привязки объектов к местности. В данной разработке использовано две подложки: спутниковый снимок и топографическая карта, которые получены с использованием программы SAS.Planet.

Блок «Оросительная система» подразделяется на два крупных элемента – оросительные и сбросные каналы, которые, в свою очередь, разделены на каналы более младшего порядка.

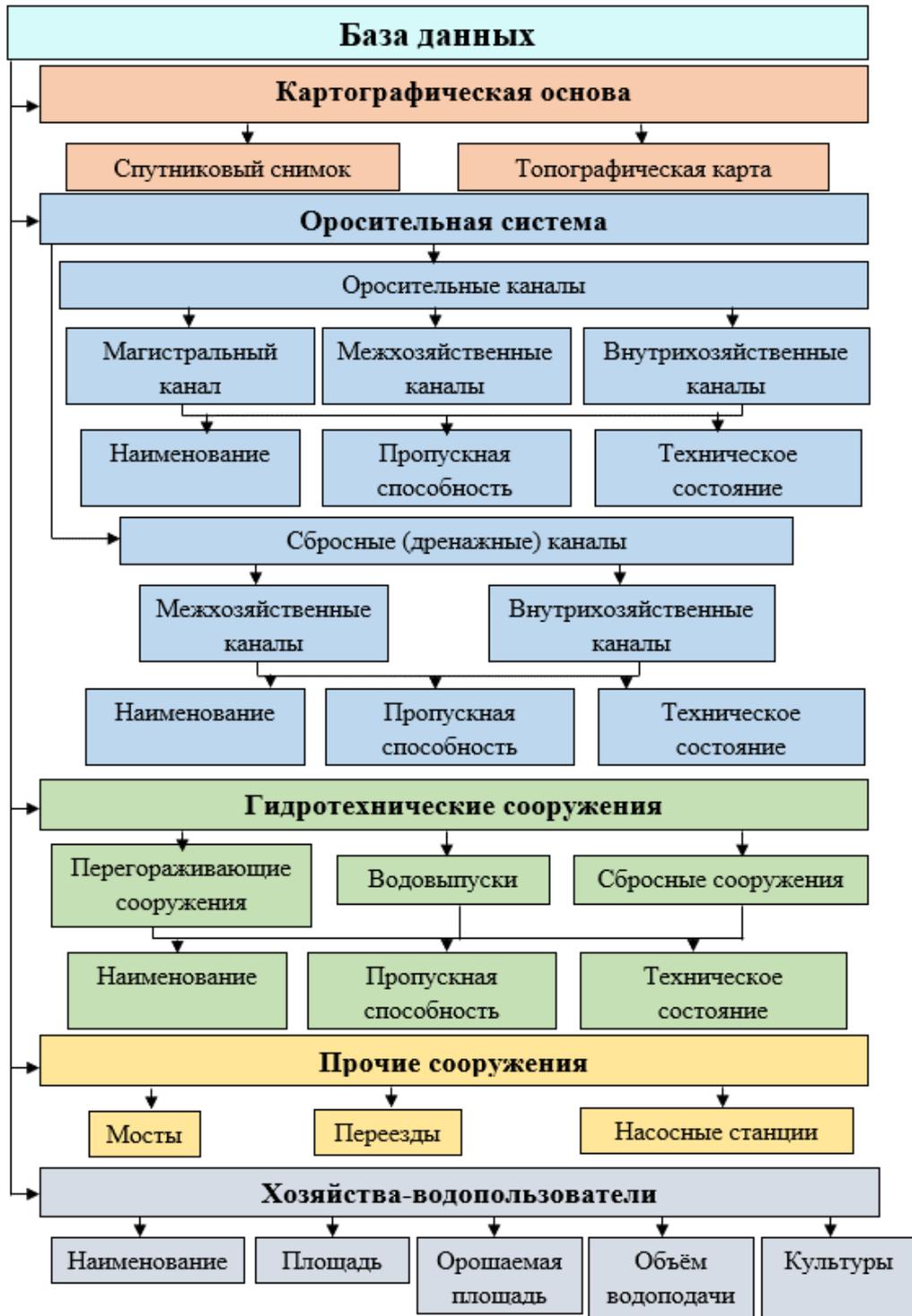


Рисунок 3.1 – Структура базы данных

Для данных каналов выделены подкатегории, позволяющие описать основные характеристики канала: наименование, пропускную способность и техническое состояние. Так, в табличную форму данной категории можно вносить данные по расходам и уровням воды в течение всего эксплуатационного периода по годам.

В блоке «Гидротехнические сооружения» выделены три основных типа сооружений: перегораживающие, водовыпуски и сбросные. Все вышеупомянутые сооружения описываются такими показателями как пропускная способность и техническое состояние.

Блок «Прочие сооружения» описывает различные сооружения, которые входят в состав оросительной системы (насосные станции) и не входящие в её состав (мосты, переезды).

В блоке «Хозяйства» содержится описание каждого хозяйства, расположенного в пределах оросительной системы: наименование, направление сельскохозяйственной деятельности, общая площадь хозяйства, объём водоподачи и т. д.

База данных позволяет систематизировать имеющийся массив данных как картографических, так и табличных. Данные вносятся в базу и хранятся для последующего накопления и аналитики.

На рисунках 3.2 и 3.3 представлен пример разработанной базы данных для Пролетарской оросительной системы.

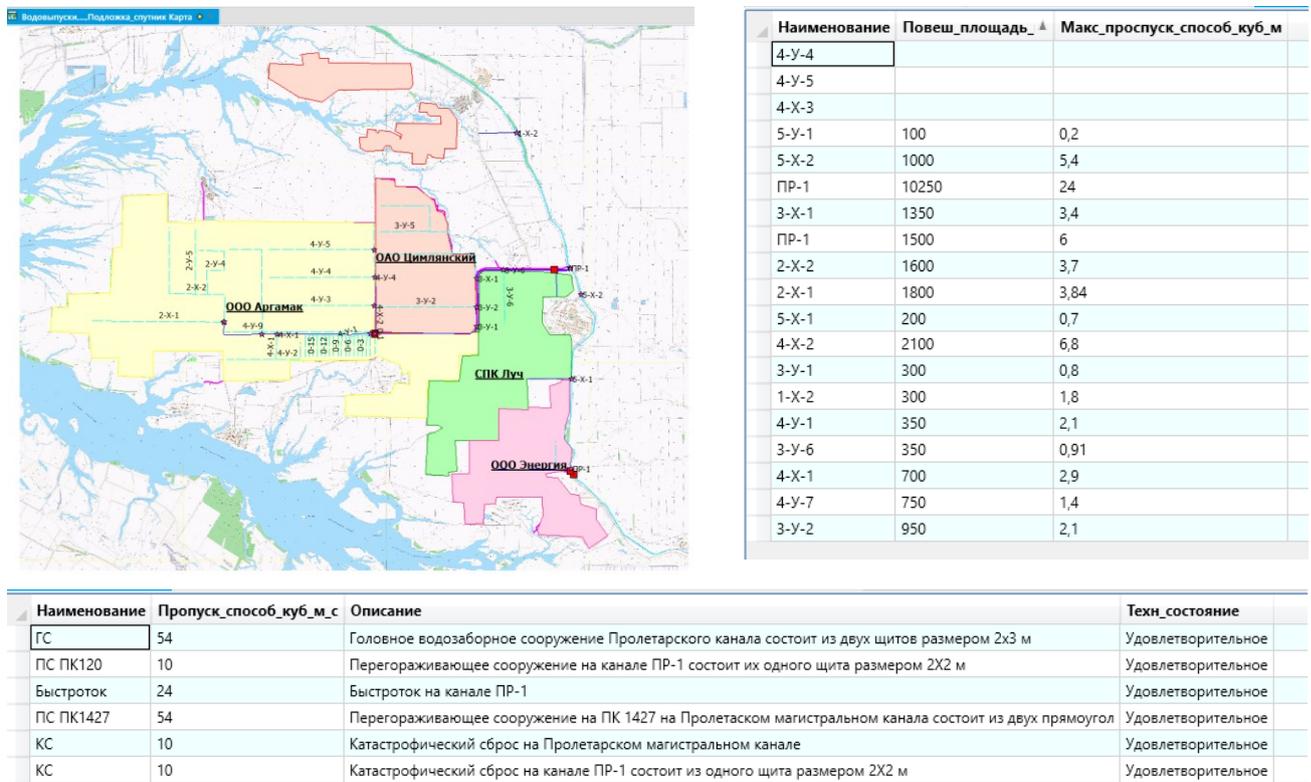


Рисунок 3.3 – Табличная часть базы данных (программа MapInfo Professional)

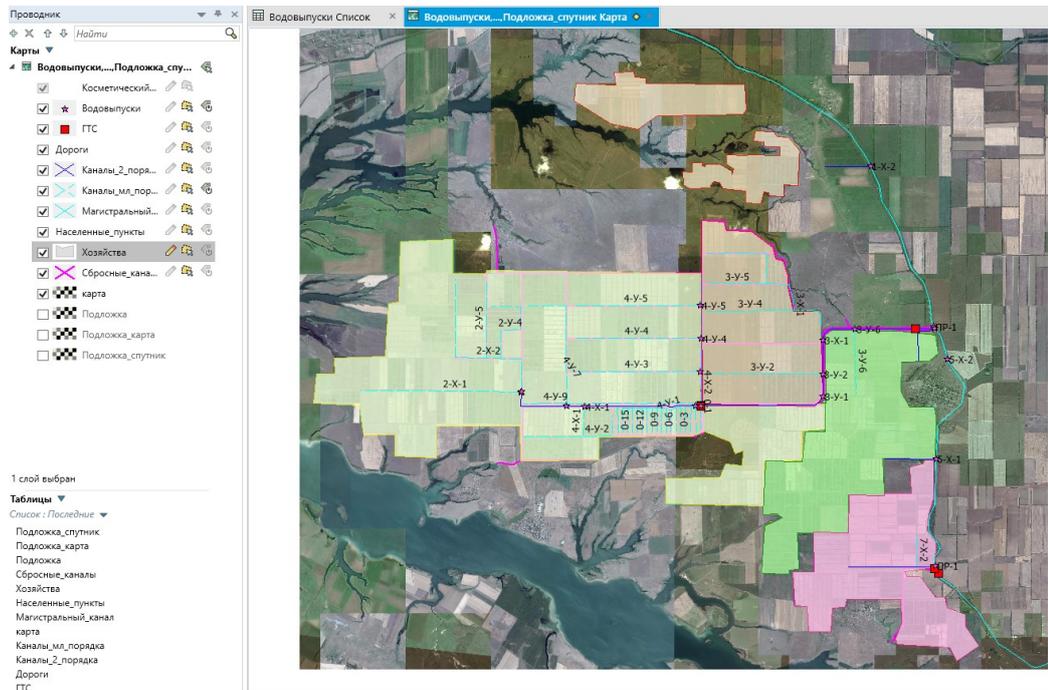


Рисунок 3.3 – Графическая часть базы данных (программа MapInfo Professional)

Использование разработанной структура базы данных мелиоративной системы позволит систематизировать эксплуатационные сведения и анализировать информацию, увеличивая скорость и качество выходных данных.

3.2 Модель использования алгоритмов

Процесс водораспределения на рисовых оросительных системах является весьма трудоёмкой задачей и требует постоянного контроля со стороны организации, эксплуатирующей оросительную систему. В рамках данной работы для повышения рациональности использования водных ресурсов на оросительных системах разработана модель использования алгоритмов, представленная на рисунке 3.4.

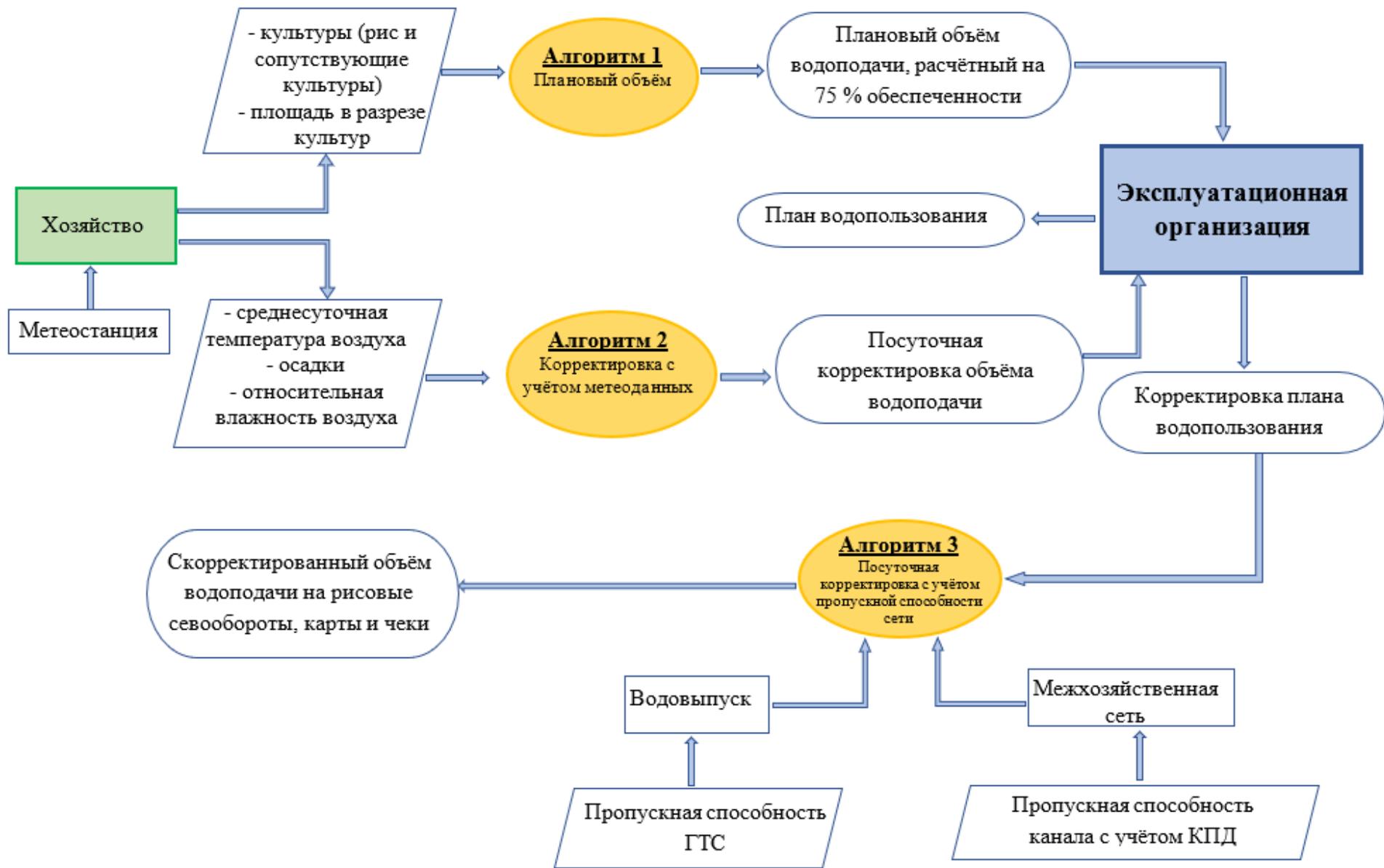


Рисунок 3.4 – Модель использования алгоритмов

Известно, что в эксплуатационную организацию от хозяйств-водопользователей поступает заявка по общему объёму водоподачи и водоотведения за весь вегетационный период. Основными исходными данными для расчёта этих величин являются культуры, площади и оросительные нормы. Для автоматизации расчёта нами разработан алгоритм 1, который позволяет выполнять данные расчёты с учётом типа почв, коэффициента природного увлажнения территории и норм водопотребности культур в составе севооборота и в целом по орошаемым площадям в сельхозпредприятии. Расчёты плана водопользования на поливной сезон и заявка на водопользование передаются в эксплуатационную организацию и потом корректируются по декадам. Такой расчёт выполняется на среднесухой год 75 % обеспеченности. Далее с изменениями погодных условий полученный план водопользования нуждается в корректировке и для этой цели разработан алгоритм 2. Корректировка выполняется в зависимости от следующих метеопараметров: среднесуточная температура воздуха, осадки и относительная влажность воздуха. Эти данные хозяйства получает от метеостанций Гидрометеорологической службы либо расположенных непосредственно в хозяйствах. Посуточная корректировка объёма подачи воды должна учитывать пропускную способность сети и водовыпусков. Для этого разработан алгоритм 3. Разработанная схема позволяет повысить эффективность использования оросительной воды, т. к. учитывает основные факторы, влияющие на объём водоподачи.

3.3 Алгоритм для расчета объема водоподачи и сброса за вегетационный период

При расчёте объёмов водоподачи на рисовые севообороты сельхозтоваропроизводители часто используют завышенные нормы водопотребности, не учитывая

такие характеристики, как коэффициент увлажнения, гранулометрический состав почв, степень засоления и уровень грунтовых вод. Это приводит к увеличению непроизводительных сбросов и деградации почв. Для предотвращения таких негативных последствий разработан алгоритм расчёта объёмов водоподачи и водоотведения за весь вегетационный период.

Алгоритм для расчёта объёма водоподачи и сброса за вегетационный период состоит из двух блоков: исходные данные (информационная база данных) и расчётные параметры (рисунок 3.5).

Первый блок условно можно разделить на две составляющие: выбор возделываемых культур в рисовом севообороте и характеристика почвенных условий.

В перечне представлены основные культуры, рекомендованные для рисового севооборота. Для расчёта необходимо знать площадь, занятую посевами каждой из представленных в списке культур. Структура алгоритма позволяет расширять этот перечень при наличии утвержденных оросительных норм.

Почвенные условия описываются гранулометрическим составом, степенью засоления и коэффициентом увлажнения. В алгоритме представлены наиболее характерные для Ростовской области почвы с агрегатным составом (глина, суглинок тяжёлый, суглинок, супесь) и суточным коэффициентом фильтрации от 0,001 до 0,005 мм/сут. Также важным условием является уровень залегания грунтовых вод (УГВ). По результатам изучения гидрогеологических условий Ростовской области определены четыре уровня УГВ от 1 до 4 м, с шагом 1 м.

Во втором блоке рассчитываются нормы водопотребности, объёмы водоподачи и водоотведения для каждого поля (чека), занятого культурами.

Оросительная норма риса M нетто, мм или м³/га, рассчитывается на основании уравнения водного баланса чека [124, 125].

Норма водопотребности ($M_{бр}$) получена по формуле:

$$M_{бр} = M_{нт} + M_{нт} \cdot (1 - КПД), \quad (3.1)$$

где $M_{бр}$ – оросительная норма брутто, м³/га;

$КПД$ – коэффициент полезного действия канала.

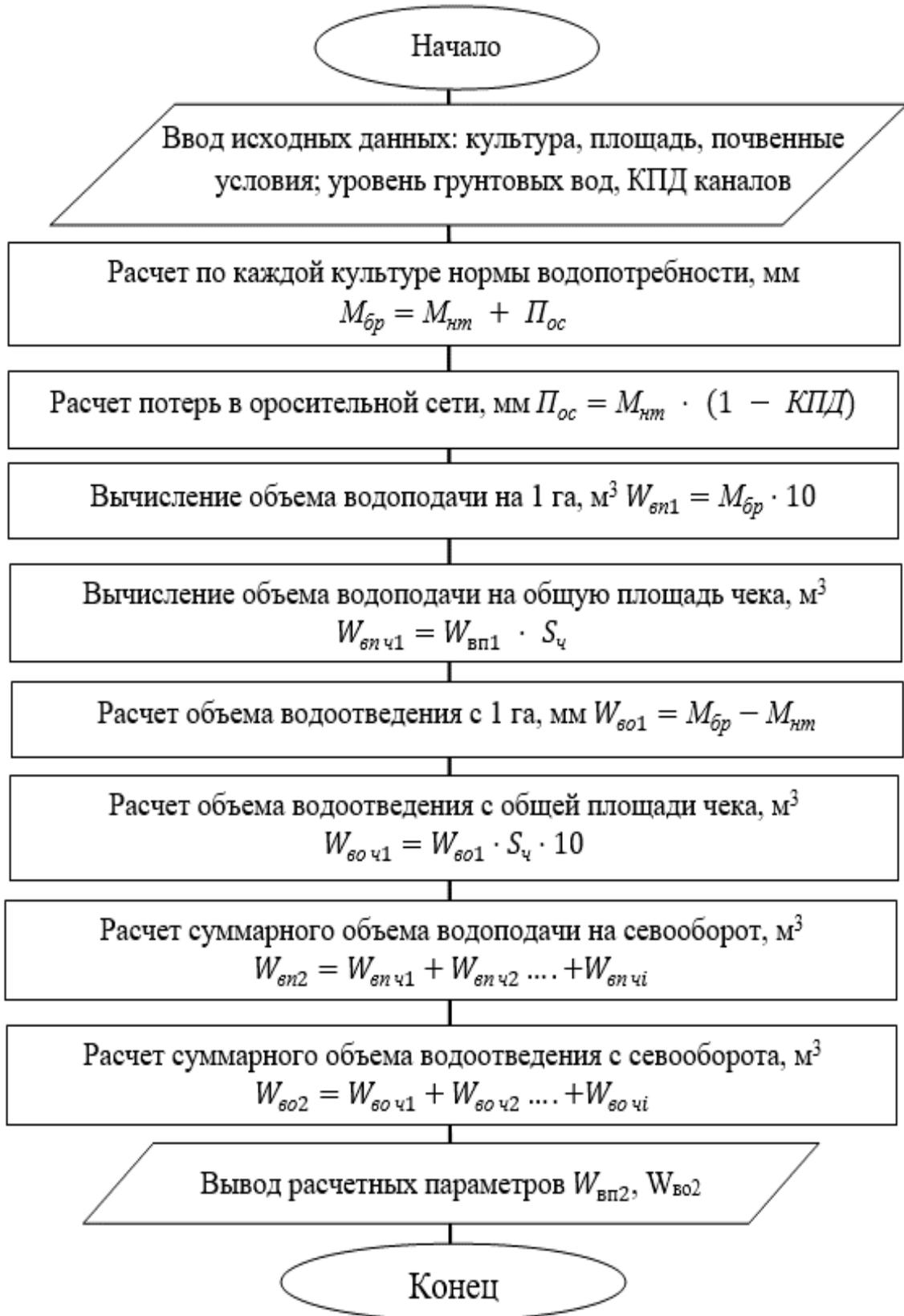


Рисунок 3.5 – Алгоритм для расчёта объёма водоподачи и водоотведения за вегетационный период

Объём водоподачи (брутто), м³, рассчитывается по формуле:

$$W_{en2} = M_{бр} \cdot S_q \cdot 10, \quad (3.2)$$

где W_{en} – объём водоподачи, м³/га;

S_q – площадь чека, занятого культурой, га.

Объём водоотведения рассчитывается по формуле:

$$W_{eo1} = (M_{бр} - M_{нт}) \cdot S_q \cdot 10, \quad (3.3)$$

где W_{eo} – объём водоотведения, м³.

Расчёт выполняется для каждого поля и суммарно на весь севооборот. В качестве примера на рисунке 3.6 представлено окно программы и результаты расчёта для шестипольного севооборота ООО «Аргатак» Пролетарского района, расположенного в зоне действия Пролетарской оросительной системы.

В ячейки, обозначенные зелёным цветом, вводят исходные данные и далее при нажатии на кнопку «расчёт» выполняется определение объёмов водоподачи и водоотведения на каждое поле и суммарно на весь севооборот. В данном случае представлен шестипольный севооборот, но имеется возможность задавать на любое количество полей.

Учитывая основные почвенные особенности рисовых севооборотов, такие как коэффициент увлажнения, гранулометрический состав, степень засоления и уровень грунтовых вод, алгоритм позволяет рассчитывать нормы водопотребности с более высокой точностью, т. к. даёт возможность задавать параметры для каждого чека. Процесс полностью автоматизирован, и это существенно ускоряет водохозяйственные расчёты. Программа зарегистрирована и имеет свидетельство о государственной регистрации [126].

Расчет норм водопотребления и водоотведения риса и сопутствующих культур рисового севооборота

Наименование хозяйства	Аргатак																		
Объем водоподдачи по хозяйству, куб. м	5 607 360						Расчет												
Объем водоотведения по хозяйству, куб. м	934 560																		
№ поля/чека	Культура	Площадь, га	Коэффициент увлажнения, Ку	Гранулометрический состав почвы	Степень засоления грунтов, %	УГВ, м	Обеспеченность года по испаряемости, %	Нормы водопотребности, мм		Объем водоподдачи (брутто), W в куб. м		Объемы водоотведения, W во			Потери в оросительной сети, Пос мм				
								Мнт	Мбр	на 1 га	на всю площадь	с 1 га, мм	с 1 га м ³	всего с севооборота, м ³	мм	при КПД каналов РОС			
шестипольный севооборот, ВСЕГО		345					75				<u>5607360</u>			<u>934560</u>			0.8		
1	Рис	80	0.3-0.4	Тяжелый суглинок	засолены = 0,2	3	75	1977	2372.4	23724	1897920	395.4	3954	316320	395.4	0.8			
2	Соя на зерно	30	0.3-0.4	Глина	засолены = 0,2	3	75	215	258	2580	77400	43	430	12900	43	0.8			
3	Рис	75	0.3-0.4	Глина	Слабо засолены = 0,1	2	75	1786	2143.2	21432	1607400	357.2	3572	267900	357.2	0.8			
4	Соя на зерно	40	0.3-0.4	Глина	Средне засолены = 0,2	2	75	215	258	2580	103200	43	430	17200	43	0.8			
5	Рис	80	0.3-0.4	Глина	засолены = 0,1	3	75	1905	2286	22860	1828800	381	3810	304800	381	0.8			
6	Зерновые колосовые	40	0.3-0.4	Суглинок, супесь	Средне засолены = 0,2	2	75	193	231.6	2316	92640	38.6	386	15440	38.6	0.8			

Рисунок 3.6 – Пример расчёта (открытое окно) с использованием разработанного алгоритма объёма водоподдачи и водоотведения на рисовый севооборот, Microsoft Excel

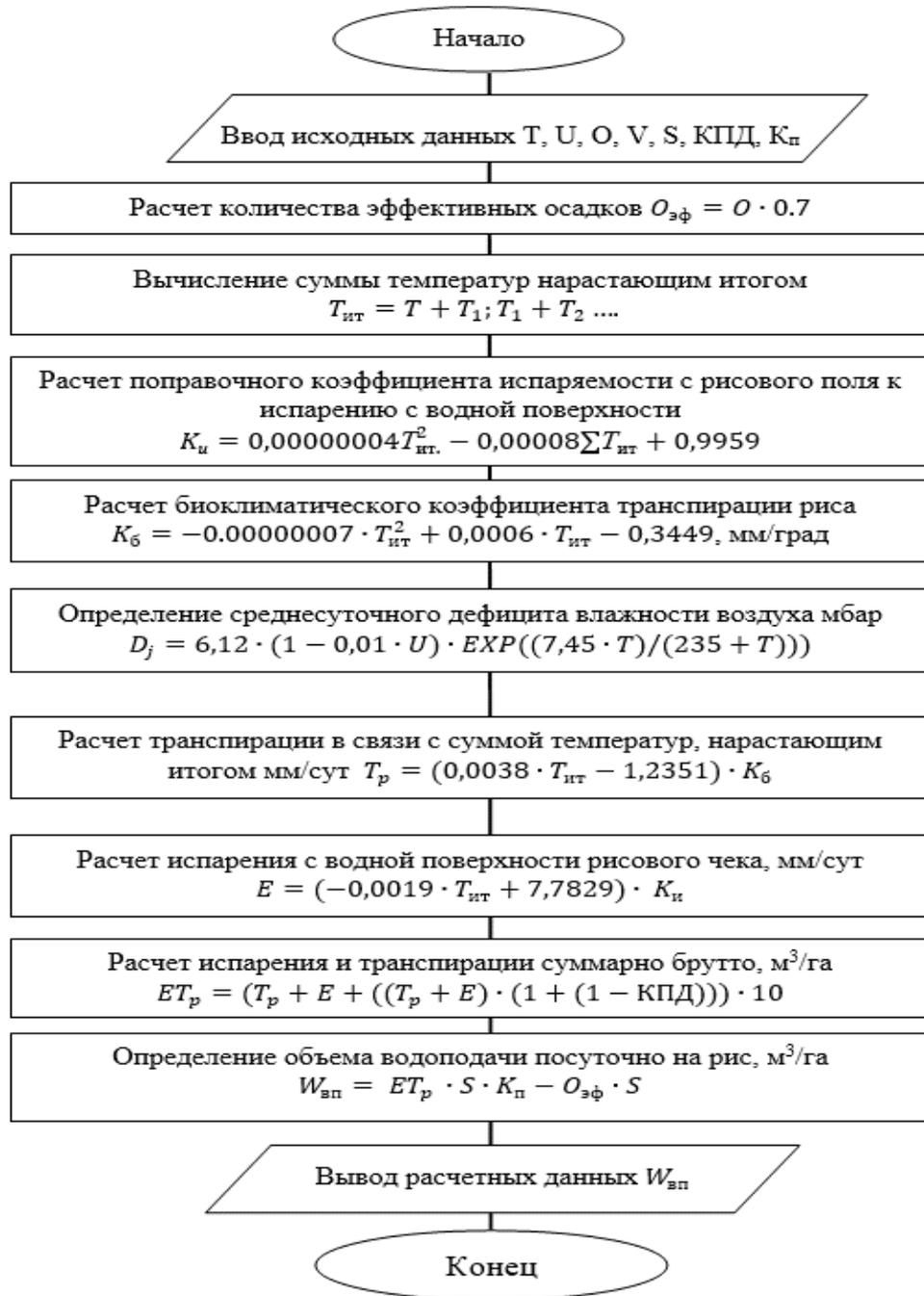
3.4 Алгоритм оперативной посуточной корректировки объемов водоподачи на рисовое поле

При подаче заявки на водопользование используются справочные оросительные нормы, которые рассчитаны по осредненным метеорологическим параметрам на среднесухой год. Однако вегетационный период растений довольно продолжительный, и постоянно изменяющиеся погодные условия оказывают значительное влияние на рост и урожайность выращиваемых культур и водопотребление. Орошение в этом смысле является гарантом восполнения дефицита влаги. В современных условиях важной задачей является экономия водных ресурсов, поэтому оперативная корректировка объёмов водоподачи на рисовый севооборот по суточным актуальным метеоданным позволит решить данную проблему.

С целью водосбережения нами предлагается алгоритм 2 для оперативной посуточной корректировки плана водопользования путём уточнения (перерасчёта) норм водопотребления (водоподачи) риса и сопутствующих культур в разрезе рисового севооборота с учётом изменения климатических и технологических условий. Для этого по результатам многолетних исследований получены биоклиматические коэффициенты водопотребления в зависимости от климатических показателей: среднесуточной температуры воздуха, относительной влажности воздуха, осадков и скорости ветра. Учитывая, что рис поливается затоплением чеков, большой интерес представляют биоклиматические коэффициенты, полученные в зависимости от испарения с водной поверхности, которые позволяют провести расчёты и посуточную корректировку объёмов водоподачи.

Алгоритм состоит из двух составляющих: 1 – корректировка объёма водоподачи на рисовый севооборот с учётом метеоданных; 2 – корректировка объёмов водоподачи на сопутствующие культуры в рисовом севообороте.

Первая часть состоит из двух блоков: информационной базы данных и расчётных параметров (рисунок 3.7). Исходные метеоданные получают от метеостанций, которые расположены в хозяйствах.



T – среднесуточная температура воздуха; $^{\circ}\text{C}$, U – относительная среднесуточная влажность; %, O – осадки, мм; V – среднесуточная скорость ветра, м/с; S – общая площадь культуры, га; КПД – коэффициент полезного действия системы; $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент на потери.

Рисунок 3.7 – Алгоритм оперативной посуточной корректировки объёмов водоподачи на рисовое поле

Формулы, используемые для определения расчетных параметров, получены по результатам полевых исследований, обработки данных многолетних наблюдений и из справочной литературы [124, 125, 127–131].

Одной из самых сложных задач при расчете объемов водоподачи является определение водного баланса рисового севооборота, в т. ч. величины потерь воды на орошаемом участке. Помимо испарения и транспирации выделяют следующие виды потерь воды в рисовом севообороте: первоначальное насыщение почвы; проточность; потери воды на горизонтальный отток; потери воды на вертикальную фильтрацию; технологические сбросы, а также сброс воды в конце вегетации.

Объем воды, идущий на первоначальное насыщение почвогрунтов W , мм, при глубине залегания грунтовых вод 1–3 м определяют по формуле [127]:

$$W = 100 \cdot h_{n/зр} \cdot \alpha \cdot (W_{нв} - W_k), \quad (3.4)$$

где $h_{n/зр}$ – толщина слоя почвогрунта от поверхности до среднего уровня грунтовых вод перед поливом или до водоупора, м;

α – объёмная масса (плотность сложения, г/см³);

$W_{нв}$ – наименьшая влагоемкость, в % от массы сухой почвы

W_k – влажность почвы на момент затопления.

Потери воды на вертикальную фильтрацию F_e , мм, определяют либо на основании экспериментальных работ, либо моделированием, либо по формулам, соответствующим конкретным гидрогеологическим условиям [128]:

$$F_e = h_{сл.} \cdot \Pi \cdot S_{пл.рус.}, \quad (3.5)$$

где $h_{сл.}$ – высота слоя воды, мм;

Π – приблизительные сезонные потери на фильтрацию: при слабой водопроницаемости грунтов 0,001 м/сут – 180 мм; при средней водопроницаемости грунтов

0,003 м/сут – 180–300 мм; при хорошей водопроницаемости грунтов 0,005 м/сут – 300–530 мм;

$S_{нл.рис.}$ – средняя площадь чека (рисового поля), га.

Расход воды на осуществление мелиоративной фильтрации F_m , мм, ориентировочно можно определить по формуле [128]:

$$F_m = 10 \cdot q_m \cdot n_\phi, \quad (3.6)$$

где q_m – величина (интенсивность) мелиоративной фильтрации равняется 3–10, мм/сут;

n_ϕ – продолжительность мелиоративной фильтрации, сут.

Расход воды на мелиоративную фильтрацию зависит от химического состава почвы, культуры земледелия, способа первоначального затопления и других технических и организационных условий. Если потери на фильтрацию превышают 10 тыс. м³/га в год, рисовые системы проектировать не рекомендуется,

Потери воды на горизонтальный отток F_o , мм, рекомендуется принимать в размере 10 % от суммарного объема воды, затрачиваемого на первоначальное насыщение, испарение, транспирацию и вертикальную фильтрацию или пропорционально изменению фильтрации вертикальной [129]:

$$F_o = 0,1 \cdot (W + E + T + F_e). \quad (3.7)$$

Проточность S_n , которая создается для снижения температуры воды (при 38–40 °С) или уменьшения ее минерализации, определяется по формуле [129]:

$$S_n = (10 - 30\%) \cdot (E + T + F_e + F_o), \quad (3.8)$$

где 0–10 % – на слабозасоленных грунтах;

10–20 % – на средnezасоленных грунтах;

20–30 % – на сильнозасоленных грунтах.

Сбросы воды с чека в соответствии с режимом орошения S_n , мм, или величину поверхностных сбросов определяют по формуле [129]:

$$S_n = 100 \cdot n_{сбр} \cdot \bar{h}_{сбр}, \quad (3.9)$$

где $n_{сбр}$ – число сбросов за поливной период;

$\bar{h}_{сбр}$ – средневзвешенная глубина сбрасываемого слоя воды, см.

Сброс воды в конце вегетации риса S_c , мм или м³/га, может возникнуть из-за двух причин – при активном созревании риса за счет сокращения срока затопления или при низких температурах с периодическим выпадением осадков в период заключительных фаз вегетации [129]:

$$S_c = 10 \cdot S_{сбр} \cdot \bar{h}_{сбр}, \quad (3.10)$$

где $S_{сбр}$ – площадь чека, с которой сбрасывается вода, га.

Величина технологических сбросов воды зависит от метрологических, почвенно-мелиоративных и фитосанитарных условий и находится в пределах 300–800 м³/га [129].

Кроме этого, при ненадежных в техническом плане рисовых систем к полной величине оросительной нормы прибавляются величины неплановых технических потерь T_{II} , мм, которые рассчитываются по формуле:

$$T_{II} = (10 - 35 \%) \cdot (E + T + F_e + S_n + S_n). \quad (3.11)$$

Как видно из представленных выше данных, расчеты по определению количественных характеристик таких потерь требуют большого количества исходных материалов, которые специалистам сельхозпредприятий не всегда возможно оперативно получить. Поэтому возникает необходимость расчета долевой составляющей каждого вида потерь на рисовых севооборотах, для дальнейшего использования при разработке программного обеспечения для вычисления поправочных коэффициентов и водопотребления.

В процессе изучения, анализа и статистической обработки имеющихся архивных, полевых исследований в рамках данной работы было установлено, что структура водного баланса рисового поля выглядит следующим образом:

- первоначальное насыщение почвы – 34 %;
- потери воды на вертикальную фильтрацию – 18 %;
- эвапотранспирация – 28 %;
- потери воды на горизонтальный отток – 4 %;
- проточность – 6 %;
- технологические сбросы – 6 %;
- сброс воды в конце вегетации – 4%.

По результатам данных исследований были построены кривые зависимости для определения поправочного коэффициента и уравнения расчетных коэффициентов. Такие работы выполнены для почвенных и климатических условий Ростовской области (Приложение А, таблица А 1).

Ввод данного коэффициента в расчет позволит выходить на научно обоснованную оросительную норму риса [87] с учетом посуточных актуальных метеоданных. На рисунке 3.8 представлено окно данной части алгоритма, реализованного в программной оболочке Microsoft Excel на языке программирования Visual Basic for Applications.

В ячейки, обозначенные зеленым цветом, вводят исходные данные, согласно алгоритму (рисунок 3.7), и далее при нажатии на кнопку «расчет» выполняется расчет всех параметров в области автоматического расчета. Для расчета необходимо, помимо метеопараметров, задать слой затопления. В результате получаем посуточный объем водоподдачи на рис и итоговую оросительную норму в конце периода вегетации.

Вторая часть алгоритма рассчитывает объемы водоподдачи на сопутствующие культуры. Помимо риса, рассматриваемый севооборот предполагает наличие других культур. Согласно [130], в рисовых севооборотах рекомендуется выращивание следующих культур: яровые колосовые, горох, люцерна, соя, кукуруза, горчица сарептская, гречиха, озимый рапс и т. д.

Норма водопотребности нетто M_{nmj} , мм, сопутствующей культуры « j » в рисовом севообороте определяется по уравнению водного баланса:

$$M_{nmj} = ET_j - P - G - U - W_n, \quad (3.12)$$

где ET_j – суммарное испарение для j -й сопутствующей культуры, мм,

P – атмосферные осадки, мм;

G – подпитывание из грунтовых вод (при залегании глубже 3 м принимается = 0, при близком залегании – менее 3 м расчёты ведутся по рекомендациям С. И. Харченко [124]), мм;

U – потери на фильтрацию, мм;

W_n – почвенные влагозапасы на начало расчётного периода, мм.

Для j -й сопутствующей культуры рисовой оросительной системы (РОС) суммарное испарение ET_j , мм, определяется по формуле:

$$ET_j = ET_o \cdot K_{\sigma j} \cdot K_{np}, \quad (3.13)$$

где ET_o – испаряемость, мм;

$K_{\sigma j}$ – биоклиматический коэффициент j -й сопутствующей культуры, находится по базе данных с учётом K_y (коэффициента увлажнения) [131];

K_{np} – поправочный микроклиматический коэффициент сопутствующих культур.

Поправочный микроклиматический коэффициент сопутствующих культур для территорий с коэффициентом увлажнения K_y , равным 0,2–0,3, соответствует 0,75; с K_y , равным 0,3–0,4, соответствует 0,81; с K_y , равным 0,4–0,5, соответствует 0,83; с K_y , равным 0,5–0,6, соответствует 0,85; с $K_y > 1,0$ соответствует 0,94.

Испаряемость ET_o , мм, в условиях рисовой оросительной системы определяется по модифицированной формуле Н. Н. Иванова [133]:

$$ET_o = k_t \cdot d_\varphi \cdot f(v), \quad (3.14)$$

где k_t – энергетический фактор испарения, мм/мб;

d_φ – дефицит влажности воздуха, мб;

$f(v)$ – ветровая функция, учитывающая влияние на скорости ветра на интенсивность испарения.

Энергетический фактор испарения находят по зависимости:

$$k_t = 0,0061 \cdot (25 + t)^2 / l_o, \quad (3.15)$$

где l_o – упругость насыщения пара при определенной температуре, мб, определяется по зависимости:

$$l_o = 0,00001 \cdot t^3 - 0,0007 \cdot t^2 + 0,6133, \quad (3.16)$$

где t – среднесуточная температура за расчетный период, °С.

Этот фактор необходим для расчета дефицита влажности воздуха d_φ , мб:

$$d_\varphi = l_o \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi), \quad (3.17)$$

где φ – относительная влажность воздуха, %.

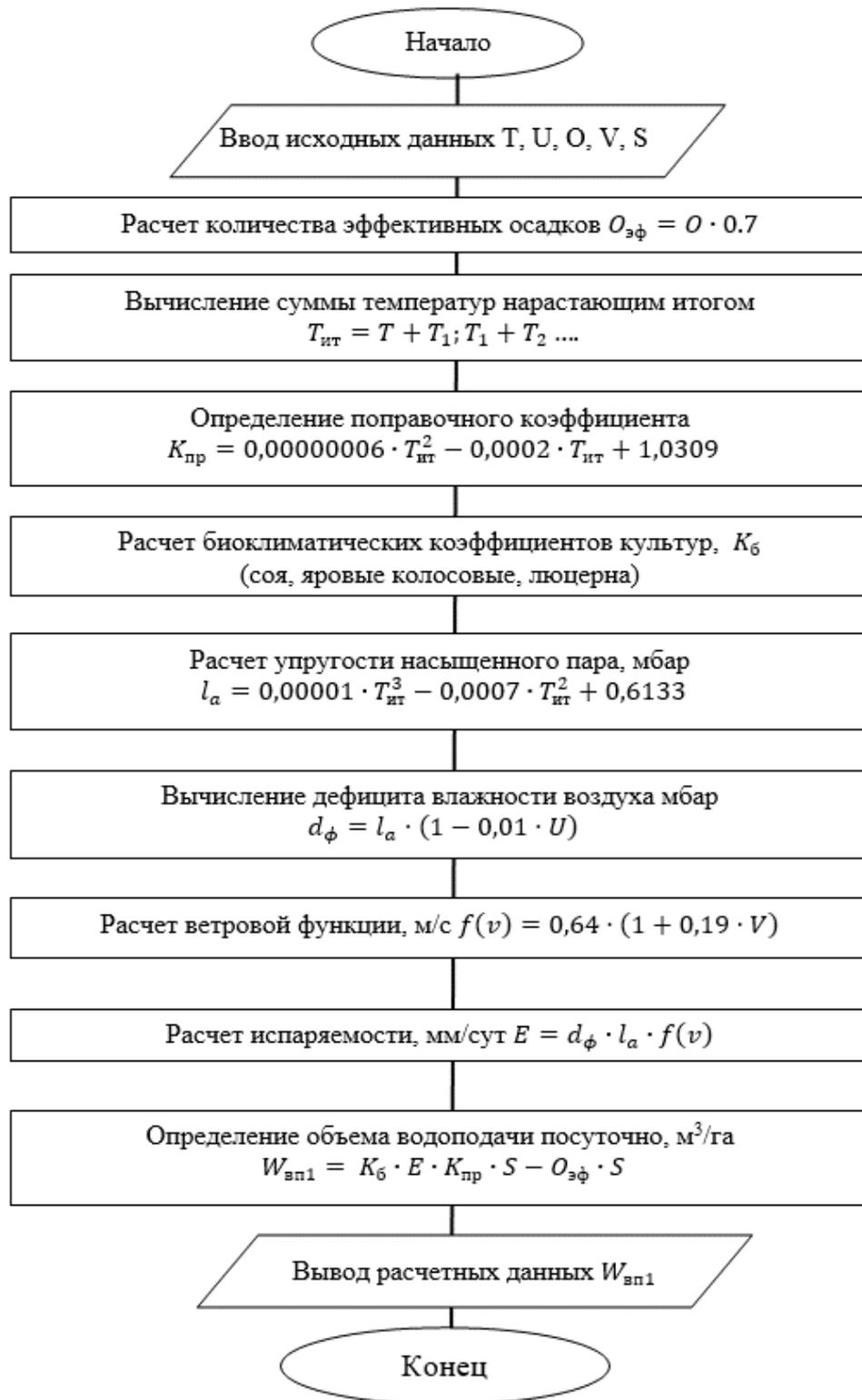
Ветровая функция определяется по следующей зависимости:

$$f(v) = 0,64 \cdot (1 + 0,19 \cdot v), \quad (3.18)$$

где v – скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с.

Разработанный алгоритм состоит из двух блоков: информационной базы данных (исходные данные) и расчётных параметров (рисунок 3.9). Как и в предыдущем алгоритме, исходные метеоданные получают от метеостанций, которые расположены в хозяйствах.

В алгоритме рассмотрены четыре культуры, которые рекомендованы для рисовых севооборотов Ростовской области. Общий вид алгоритма, реализованного в программной оболочке Microsoft Excel представлен на рисунке 3.10



T – среднесуточная температура воздуха, °С;

U – относительная среднесуточная влажность, %; O – осадки, мм;

V – среднесуточная скорость ветра, м/с; S – общая площадь культуры, га

Рисунок 3.9 – Алгоритм корректировки объёмов водоподачи на сопутствующие культуры рисового севооборота

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Наименование хозяйства	Армак																								
Культура	площадь, га																								
яровые колосовые	20																								
Соя на зерно	30																								
кукуруза на силос	45																								
Люцерна	20																								
Расчет нормы водопотребления сопутствующей культуры РОС (кукуруза на зерно) с учетом Кпр.																									
		Среднесуточная температура, °С	Среднесуточная относительная влажность воздуха, %	Сумма осадков за сутки, мм	Среднесуточная скорость ветра, м/с	Эффективные осадки, мм	D(j) среднесуточный дефицит влажности в j-й день, мбар	Сумма температур нарастающим итогом от всходов, °С	Даты начала расчетов испарения с поверхности почвы (воды, если затоплено) рисового поля с даты посева и эвапотранспирация с даты	Испаряемость	Расчет дефицита влажности воздуха, мб	Упругость насыщенного пара	Энергетический фактор испарения	Ветровая функция, учитывает скорость ветра м/сек	Поправочный коэффициент Кпр	Культуры								Объем водоподдачи	
	дата	T	f	R	ветер					кукуруза на силос	соя	яровые колосовые	Люцерна прошлых лет, сумма температур нарастающим итогом от возобновления вегетации до 1-го укоса составляет 0–800 °С				посуточно, куб. м								
		(С)	(%)	(мм)	(м/с)					Кб	испарение	Кб	испарение	Кб	испарение	Кб	испарение	Кб	испарение						
	начать с даты 20 апреля																								
	01.05.2017	11.6	50	0.3	4	0.21	4.3	11.6	всходы	4.60	0.27	0.53	15.28	1.13	1.00	0.38	1.75	0.22	1.01	0.29	1.33	0.68	3.12	187.69	
	02.05.2017	12.6	41	0	7	0	5.3	24.2		7.59	0.31	0.52	16.52	1.49	1.00	0.39	2.96	0.23	1.76	0.30	2.26	0.68	5.19	317.11	
	03.05.2017	14	43	0	4	0	5.3	38.2		5.96	0.29	0.50	18.43	1.13	1.00	0.40	2.38	0.25	1.46	0.31	1.82	0.69	4.11	255.56	
	04.05.2017	12.1	32	0	2	0	6.0	50.3		5.04	0.36	0.53	15.89	0.88	0.99	0.41	2.06	0.26	1.29	0.32	1.58	0.70	3.51	221.08	
	05.05.2017	20	35	0	4	0	7.1	70.3		9.04	0.27	0.41	29.89	1.13	0.99	0.43	3.82	0.28	2.47	0.33	2.94	0.71	6.37	410.34	
	06.05.2017	20.7	40	0	4	0	6.7	91		8.61	0.24	0.40	31.69	1.13	0.99	0.44	3.75	0.30	2.51	0.34	2.90	0.72	6.15	403.95	
	07.05.2017	22.6	55	0	5	0	5.3	113.6		7.76	0.17	0.37	37.23	1.25	0.98	0.46	3.50	0.32	2.42	0.36	2.71	0.74	5.62	376.92	

Рисунок 3.10 – Общий вид алгоритма в программной оболочке Microsoft Excel (часть 2) [132]

3.5 Алгоритм посуточной корректировки объёма подачи воды на рисовые севообороты

После расчёта и корректировки потребности в водных ресурсах по метеоданным необходимо оперативно распределить запрашиваемый объём в зависимости от пропускной способности сети и водовыпусков. Для решения этой задачи разработан алгоритм 3, который позволяет выполнить корректировку объёмов водоподачи для каждого хозяйства (рисунок 3.12). Данный алгоритм позволяет рассчитывать и корректировать посуточные объёмы водоподачи. На рисунке 3.13 представлен общий вид алгоритма в программной оболочке Microsoft Excel.

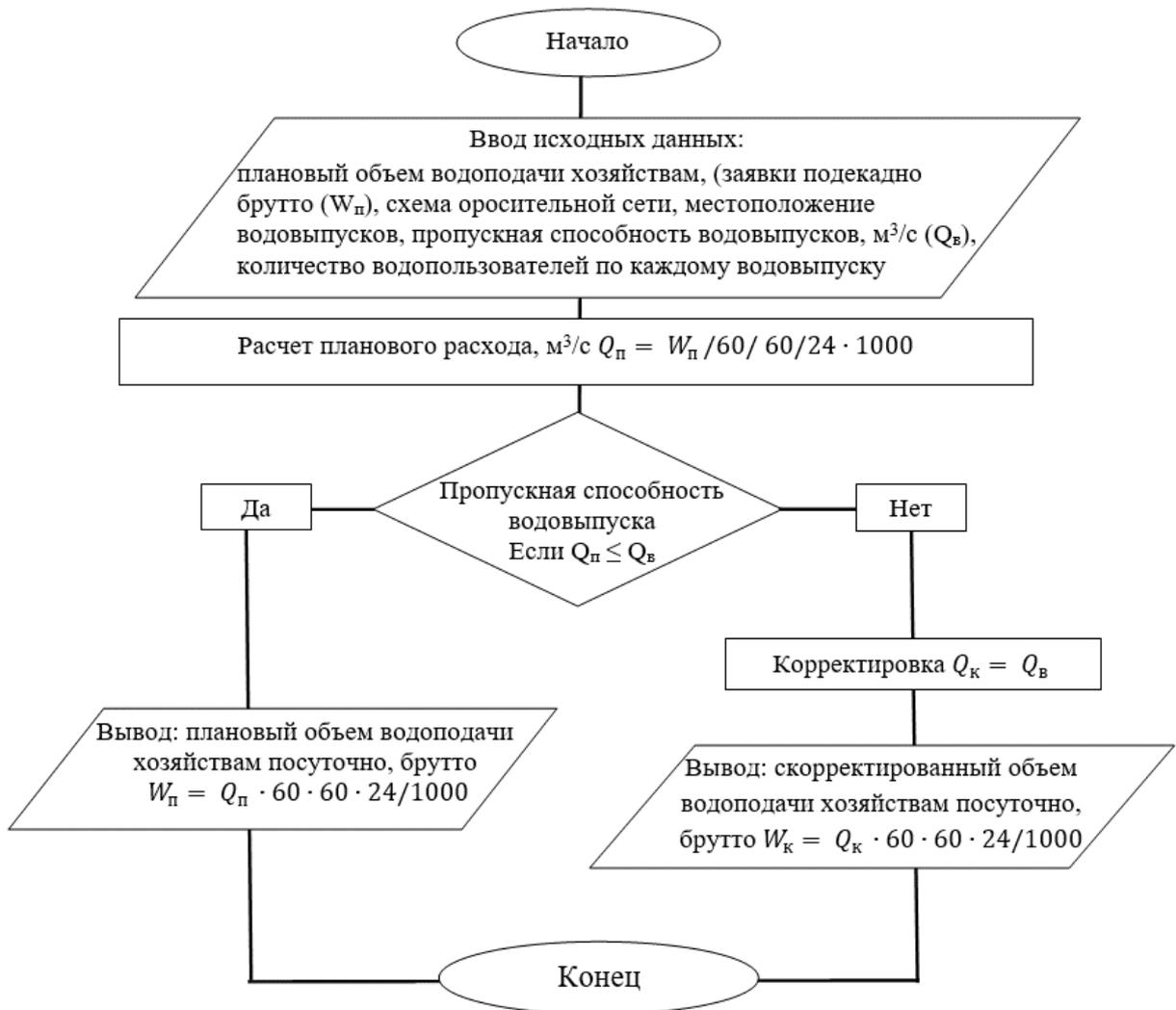
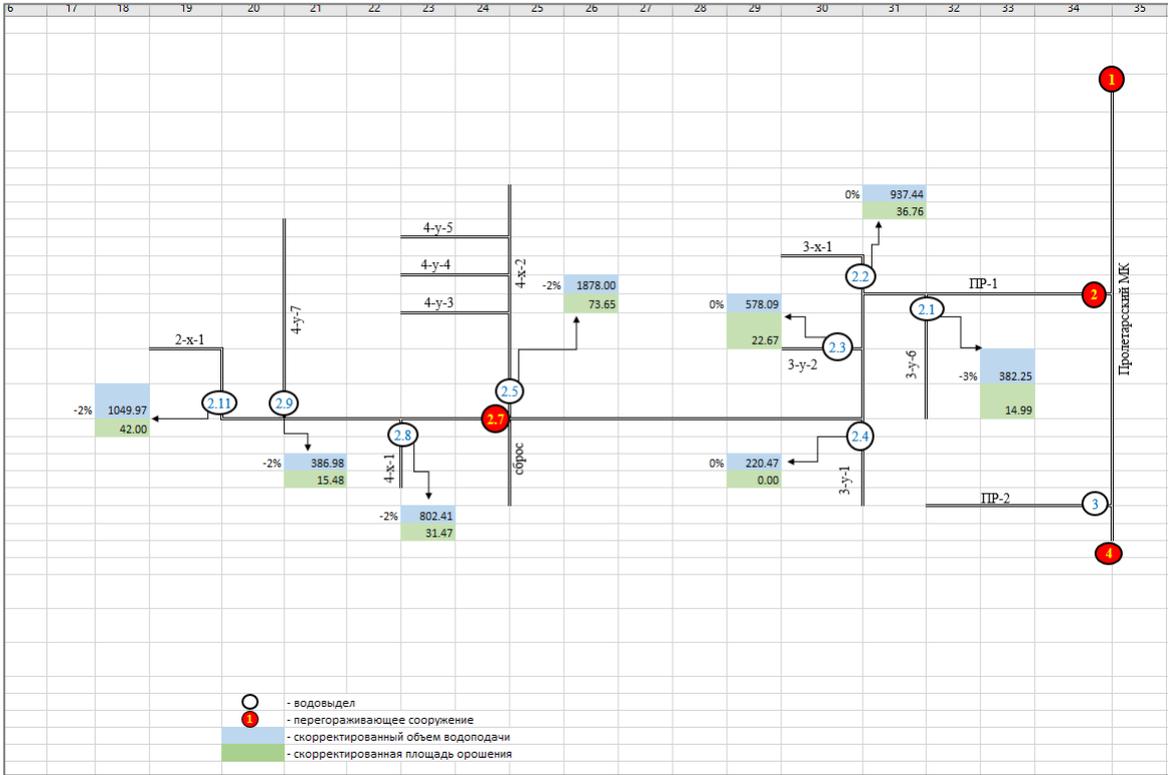


Рисунок 3.12 – Алгоритм посуточной корректировки объёма водоподачи

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Плановый объем водоподачи хозяйствам, тыс куб м в сут				Скорректированный объем водоподачи, тыс куб м в сут			
2	дата	Цимлянский	Луч	Армагак	Цимлянский	Луч	Армагак	
3	01.05.2020	286	75	350	286	75	350	
4	02.05.2020	450	74	580	450	74	580	
5	03.05.2020	480	80	650	480	79	650	
6	04.05.2020	240	76	1380	240	76	1287	
7	05.05.2020	280	89	1250	280	79	1250	
8								
9								
10								



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Наименование водовыпуска	2.10			Оросительная норма				Наименование водовыпуска	2.7			Оросительная норма	
2	Пропускная способность	3.8			25				Пропускная способность	10			25.5	
3	Плановый объем водоподачи, сут	Расход	Корректировка расхода	Корректировка объема водоподачи	Площадь орошения			Дата	Плановый объем водоподачи, сут	Расход	Корректировка расхода	Корректировка объема водоподачи	Площадь орошения	
4	тыс м3	м3 в сек.	м3 в сек.	тыс м3	га			тыс м3	м3 в сек.	м3 в сек.	м3 в сек.	тыс м3	га	
5	W	Q	Q	W	S			W	Q	Q	Q	W	S	
6	01.05.2020	89	1.03	1.03	89.3	3.57		01.05.2020	190.4	2.20	2.20	190.4	7.47	
7	02.05.2020	148	1.71	1.71	147.9	5.92		02.05.2020	315.52	3.65	3.65	315.52	12.37	
8	03.05.2020	166	1.92	1.92	165.75	6.63		03.05.2020	353.6	4.09	4.09	353.6	13.87	
9	04.05.2020	352	4.07	3.80	328.32	13.13		04.05.2020	750.72	8.69	8.69	750.72	29.44	
10	05.05.2020	319	3.69	3.69	318.75	12.75		05.05.2020	680	7.87	7.87	680	26.67	
11	Всего	1073.55			1049.97	42.00		Всего	2290.24			2290.24	89.81	
12	Наименование водовыпуска	2.9			Оросительная норма			Наименование водовыпуска	2			Оросительная норма		
13	Пропускная способность	1.4			25.5			Пропускная способность	24			25.5		
14	Плановый объем водоподачи, сут	Расход	Корректировка расхода	Корректировка объема водоподачи	Площадь орошения			Дата	Плановый объем водоподачи, сут	Расход	Корректировка расхода	Корректировка объема водоподачи	Площадь орошения	
15	тыс м3	м3 в сек.	м3 в сек.	тыс м3	га			тыс м3	м3 в сек.	м3 в сек.	м3 в сек.	тыс м3	га	
16	W	Q	Q	W	S			W	Q	Q	Q	W	S	
17	01.05.2020	32.9	0.38	0.38	32.9	1.32		01.05.2020	711	8.23	8.23	711	27.88	
18	02.05.2020	54.52	0.63	0.63	54.52	2.18		02.05.2020	1104	12.78	12.78	1104	43.29	
19	03.05.2020	61.1	0.71	0.71	61.1	2.44		03.05.2020	1210	14.00	14.00	1210	47.45	
20	04.05.2020	129.72	1.50	1.40	120.96	4.84		04.05.2020	1696	19.63	19.63	1696	66.51	
21	05.05.2020	117.5	1.36	1.36	117.5	4.70		05.05.2020	1619	18.74	18.74	1619	63.49	
22	Всего	395.74			386.98	15.48		Всего	6340			6340	248.63	
23	Наименование водовыпуска	2.8			Оросительная норма			Наименование водовыпуска	2.7			Оросительная норма		
24	Пропускная способность	2.9			25.5			Пропускная способность	10			25.5		
25	Плановый объем водоподачи, сут	Расход	Корректировка расхода	Корректировка объема водоподачи	Площадь орошения			Дата	Плановый объем водоподачи, сут	Расход	Корректировка расхода	Корректировка объема водоподачи	Площадь орошения	
26	тыс м3	м3 в сек.	м3 в сек.	тыс м3	га			тыс м3	м3 в сек.	м3 в сек.	м3 в сек.	тыс м3	га	
27	W	Q	Q	W	S			W	Q	Q	Q	W	S	
28	01.05.2020	68.25	0.79	0.79	68.25	2.68		01.05.2020	190.4	2.20	2.20	190.4	7.47	
29	02.05.2020	113.1	1.31	1.31	113.1	4.44		02.05.2020	315.52	3.65	3.65	315.52	12.37	
30	03.05.2020	126.75	1.47	1.47	126.75	4.97		03.05.2020	353.6	4.09	4.09	353.6	13.87	

Рисунок 3.13 – Алгоритм 3 в программной оболочке Microsoft Excel

3.6 Алгоритм расчёта эвапотранспирации

Алгоритм автоматизированного расчёта эвапотранспирации разработан на основе данных теоретических экспериментальных исследований на опытных участках объектов-представителей по возделыванию риса, а также исследований в гидрологических лизиметрах, установленных на полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ» [134] (рисунок 3.14). Программная оболочка алгоритма – Microsoft Office Excel [135, 136].

Для расчёта испаряемости нами была использована модифицированная профессором Н. В. Данильченко формула Н. Н. Иванова [137], которая приняла следующий вид, мм:

$$E = k_t \cdot d_\varphi \cdot f(v) \cdot k_\text{ч}, \quad (3.19)$$

где E – испаряемость (потенциальная эвапотранспирация), мм;

k_t – энергетический фактор испарения, мм/мбар;

d_φ – дефицит влажности воздуха, мбар;

$f(v)$ – функция, учитывающая влияние скорости ветра;

$k_\text{ч}$ – поправочный коэффициент на испарение с водной поверхности чека с растущим рисом.

Энергетический (температурный) фактор k_t , учитывающий нелинейность связи E и d_φ при изменении температуры воздуха, определяем по зависимости:

$$k_t = k_{tp} / l_a, \quad (3.20)$$

где $k_{tp} = 0,0061 \cdot (25 + t)^2$ – температурный режим, °С;

t – температура воздуха, °C;

l_a – упругость насыщенного пара, соответствующая этой температуре,

мбар.

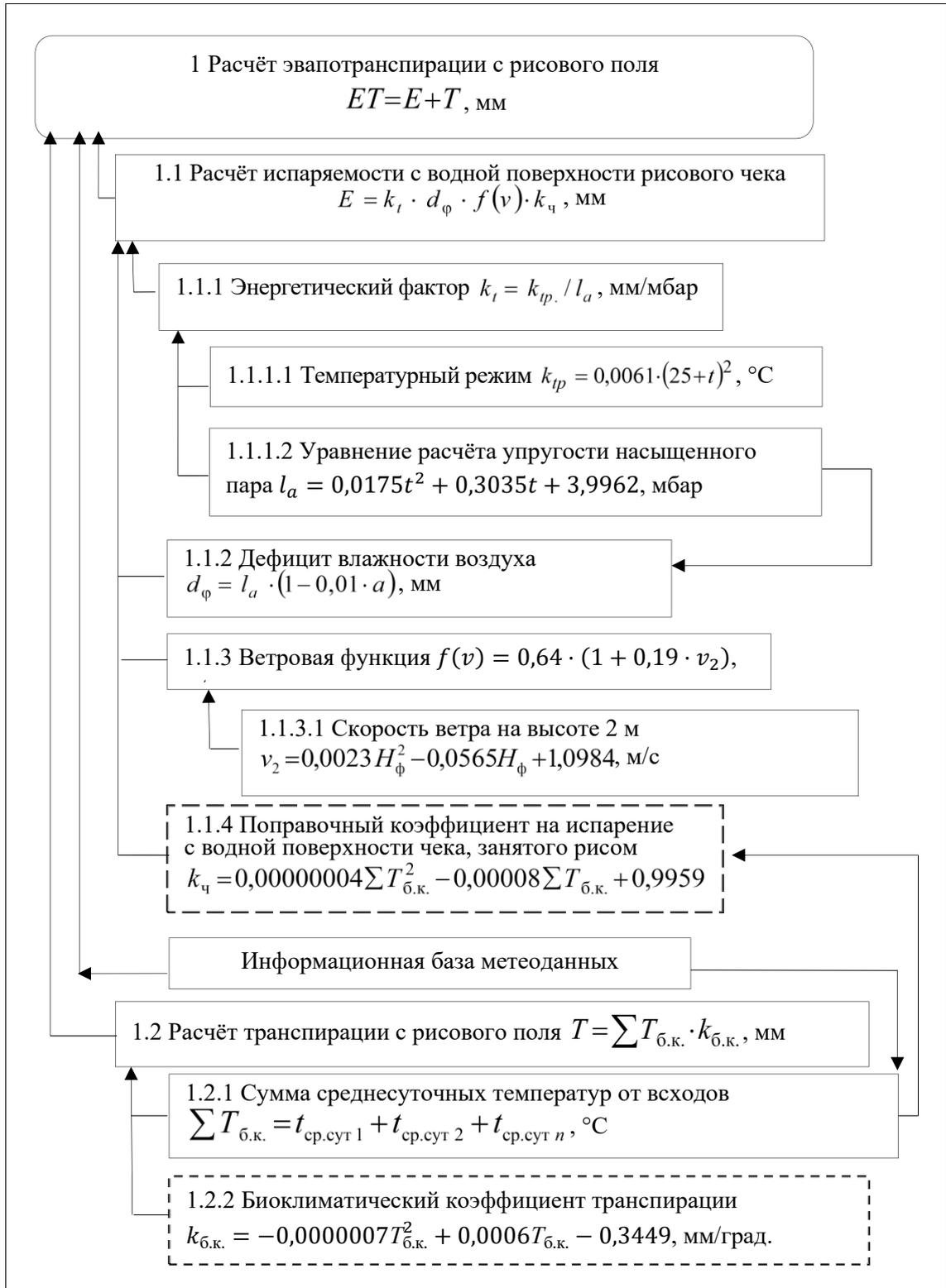


Рисунок 3.14 – Алгоритм расчёта эвапотранспирации рисового поля

Формулы и зависимости, которые были использованы для расчёта эваптранспирации (см. рисунок 3.14), получены из справочных данных и результатов полевых исследований.

Для расчёта упругости насыщенного пара соответствующей температуре, нами была получена кривая напряжения водяных паров в миллиметрах ртутного столба в зависимости от температуры воздуха и уравнение для перевода упругости напряжения водяных паров в зависимости от температуры воздуха из миллиметров ртутного столба в миллибары с коэффициентом корреляции 0,9 (рисунок 3.15) [134].



Рисунок 3.15 – График упругости насыщенного пара в зависимости от температуры воздуха, в миллибарах

Для перехода от флюгерной скорости ветра на наблюдаемой высоте H_{ϕ} к расчётной скорости ветра v_2 на высоте 2 м получена кривая коэффициента перевода и уравнение с коэффициентом корреляции 0,9 (рисунок 3.16) [134].

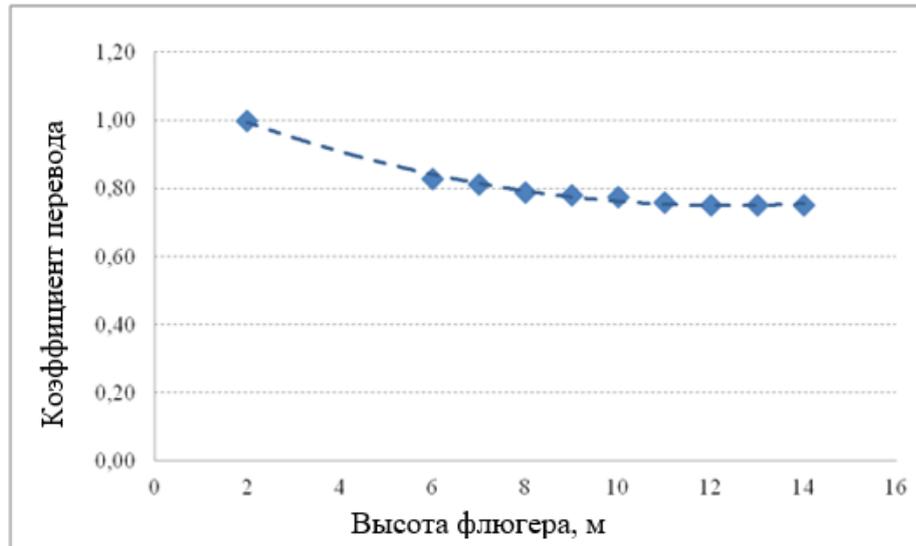


Рисунок 3.16 – График коэффициента для перевода скорости ветра от флюгерной (наблюдаемой) к расчётной на высоте 2 м

Поправочный коэффициент получен по результатам полевых исследований.

Биоклиматический коэффициент транспирации $k_{б.к.Т}$, мм/град., для риса во взаимосвязи с суммой температур нарастающим итогом от восходов определяется по зависимости, представленной на рисунке 3.17 [134].

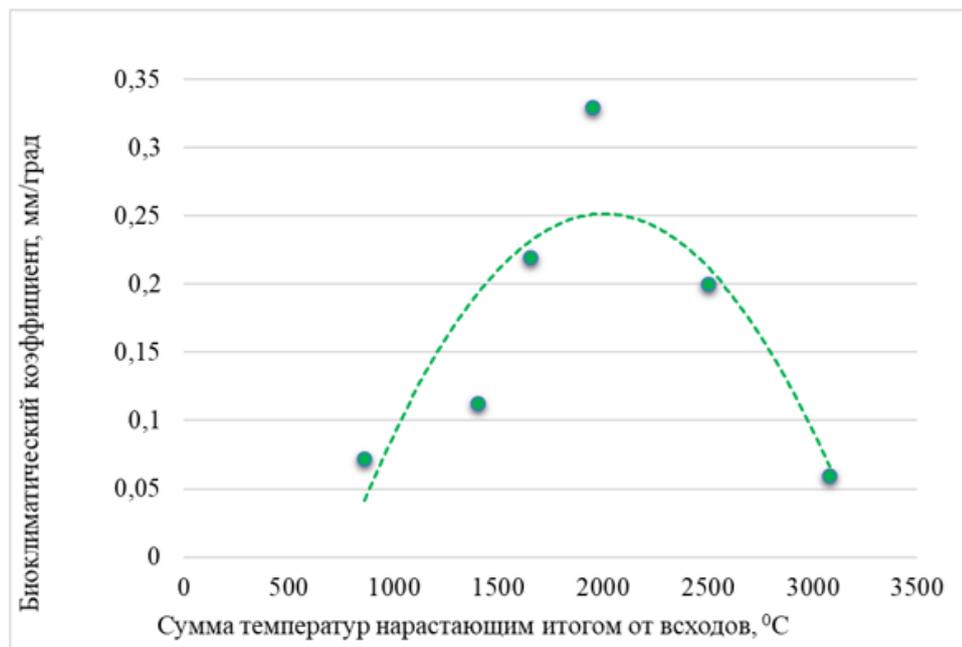


Рисунок 3.17 – Биоклиматические коэффициенты транспирации риса при исследованиях в лизиметрах на опытном участке научного полигона РосНИИПМ, осредненные данные 2018–2020 гг.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Разработана структура базы данных, которая позволила упорядочить имеющиеся материалы с учётом географической привязки к местности. В структуре базы данных имеется пять основных блоков, каждый из которых подразделяется на дополнительные элементы. Использование разработанной структуры базы данных мелиоративной системы позволит систематизировать эксплуатационные сведения и анализировать информацию, увеличивая скорость и качество выходных данных.

2. Разработана схема применения алгоритмов, которая подразумевает использование трёх алгоритмов по расчёту объёмов водоподачи и корректировке их в течение вегетационного периода. Такая схема расчета объёмов водоподачи позволяет повысить его эффективность на 15 %, т. к. учитывает основные факторы, влияющие на объём водоподачи.

3. Учитывая основные почвенные особенности рисовых севооборотов, такие как коэффициент увлажнения, гранулометрический состав, степень засоления и уровень грунтовых вод, разработан алгоритм для расчёта объёма водоподачи и водоотведения за вегетационный период, который позволяет с высокой степенью достоверности рассчитывать нормы водопотребности. Процесс полностью автоматизирован и это существенно ускоряет водохозяйственные расчёты (на 15 %).

4. Алгоритм для корректировки объёма водоподачи на рисовый севооборот позволяет рассчитывать посуточные объёмы водоподачи с учётом потерь и актуальных метеоданных. Для данного алгоритма рассчитан региональный коэффициент потерь, использование которого повышает точность расчётов на 15 %.

5. После расчёта и корректировки потребности в водных ресурсах по метеоданным необходимо оперативно распределить запрашиваемый объём в зависимости от пропускной способности сети и водовыпусков. Для решения этой задачи разработан алгоритм, позволяющий выполнить корректировку объёмов водоподачи

для каждого хозяйства. Данный алгоритм позволяет рассчитывать и корректировать посуточные объёмы водоподачи, экономить 15 % воды.

6. Алгоритм автоматизированного расчёта эвапотранспирации разработан на основе данных теоретических и экспериментальных исследований на опытных участках объектов-представителей по возделыванию риса, а также исследований в гидрологических лизиметрах, установленных на полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ». Данный алгоритм вошёл в структуру алгоритма по корректировке объёмов водоподачи (алгоритм 2) и повысил точность его расчётов на 5 %.

ГЛАВА 4. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

4.1 Результаты сценарных исследований на Пролетарской оросительной системе

В настоящее время одной из проблем на данной системе является удалённое расположение некоторых хозяйств-водопотребителей относительно магистрального канала. Вода таким хозяйствам подаётся по сети каналов второстепенного порядка, при этом возникает необходимость поддержания высоких уровней в магистральном канале для самотечной подачи воды в хозяйственные распределители. Регулирование водоподдачи за счёт поддержания уровней приводит к непроизводительным потерям воды на испарение, фильтрацию и наполнение участка канала от перегораживающего сооружения до водовыдела [138].

Для проведения сценарных исследований в программном комплексе MIKE была разработана гидродинамическая модель участка Пролетарского магистрального канала общей протяжённостью более 30 км. Помимо основной ветки, в модель вошли два межхозяйственных водораспределителя ПР-1 и ПР-2 и один внутрихозяйственный – 4-х-2. На рисунке 4.1 представлен оцифрованный участок моделирования с плановым местоположением сооружений [138, 139].

С учётом откалиброванной модели были попикетно проанализированы скорости течения на предмет выявления близких к критическим и превышающим скоростям размыва земляного русла.

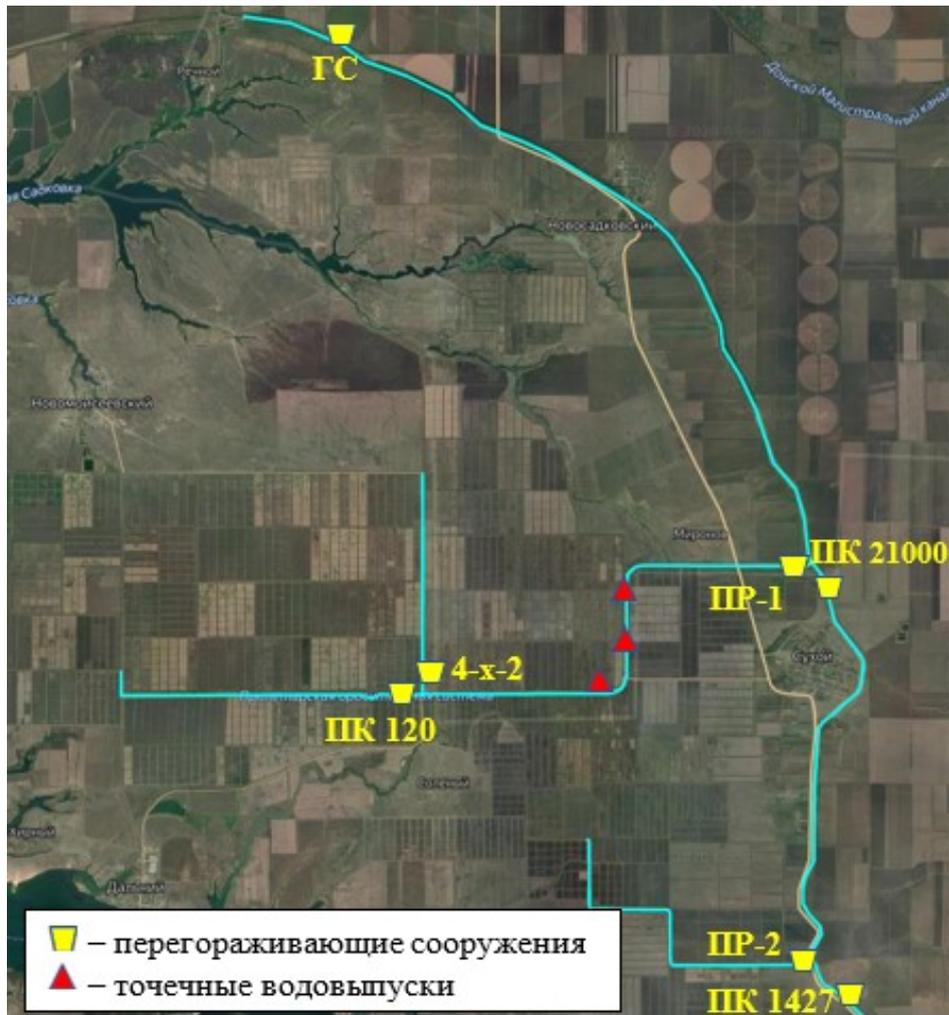


Рисунок 4.1 – Участок моделирования (космоснимок SAS.Planet)

Продольный профиль магистрального канала с максимальными скоростями представлен на рисунке 4.2. Условно данный профиль можно разделить на три участка:

- участок 1: от головного сооружения до водовыпуска на ПР-1, протяжённостью 19,97 км;
- участок 2: ниже водовыпуска на ПР-1 до ПР-2, протяжённостью 10,53 км;
- участок 3: протяжённостью 1 км от сооружения на ПК 1427 до конца модели.

На участке 1 максимальное значение скорости, равное 4,2 м/с, зафиксировано в районе расположения перегораживающего сооружения. Средняя скорость течения при этом не превышает 0,55 м/с (рисунок 4.3).

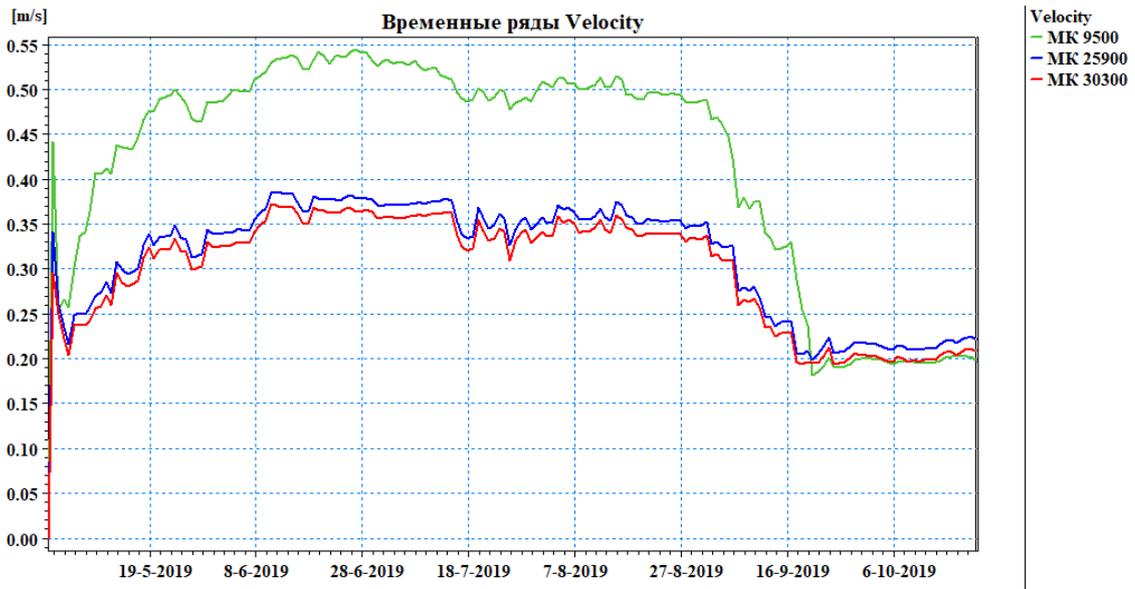


Рисунок 4.2 – Графики динамики скорости течения на участках магистрального канала (программа MIKE FLOOD)

На участках 2 и 3 средние показатели скорости практически одинаковы и не превышают 0,38 м/с, за исключением пикового значения 5,5 м/с в створе сооружения на ПК 1427. Средние скорости потока по всей длине канала ПР-1 изменяются в диапазоне от 0,4 до 0,55 м/с (рисунок 4.4). Максимальные значения (8,8 м/с, 3,53 м/с и 8,24 м/с) зафиксированы соответственно на водовыпуске ПР-1, быстротоке и перегораживающем сооружении на ПК-120.

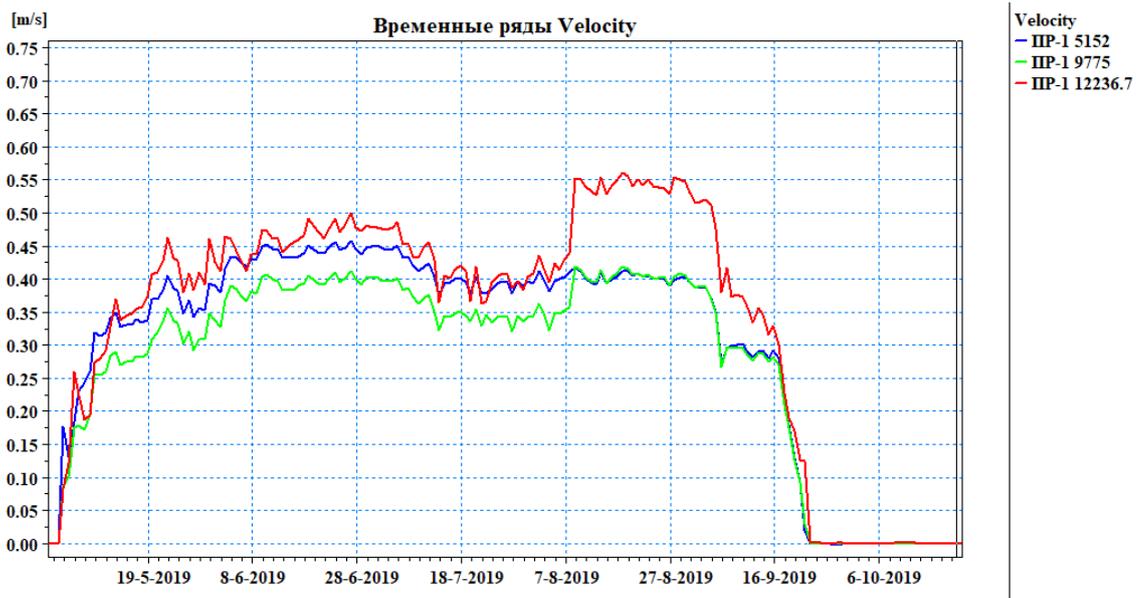


Рисунок 4.4 – Графики динамики скорости течения ПР-1 (программа MIKE FLOOD)

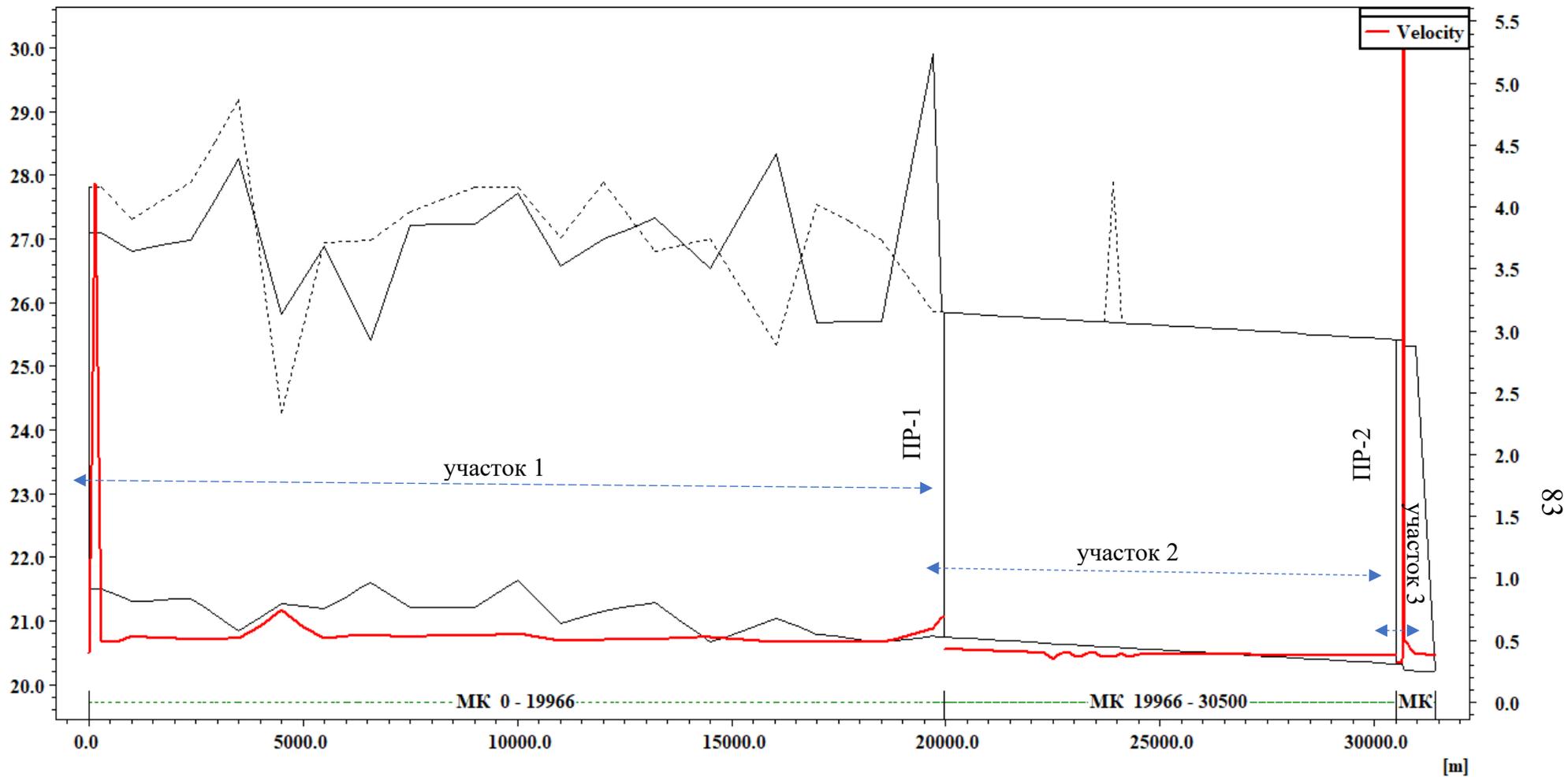


Рисунок 4.3 – Продольный профиль магистрального канала с изображением максимальных скоростей (программа MIKE FLOOD)

Превышающие справочные значения скорости в створах гидротехнических сооружений обусловлены сужением русла и наличием регулирующих затворов. Поэтому участки в нижних бьефах сооружений наиболее подвержены размывам, что подтверждают данные рекогносцировочного обследования (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Размывы в русле на быстротоке канала ПР-1

В результате анализа определены объёмы воды на основных водовыделах за весь оросительный период (рисунок 4.6).

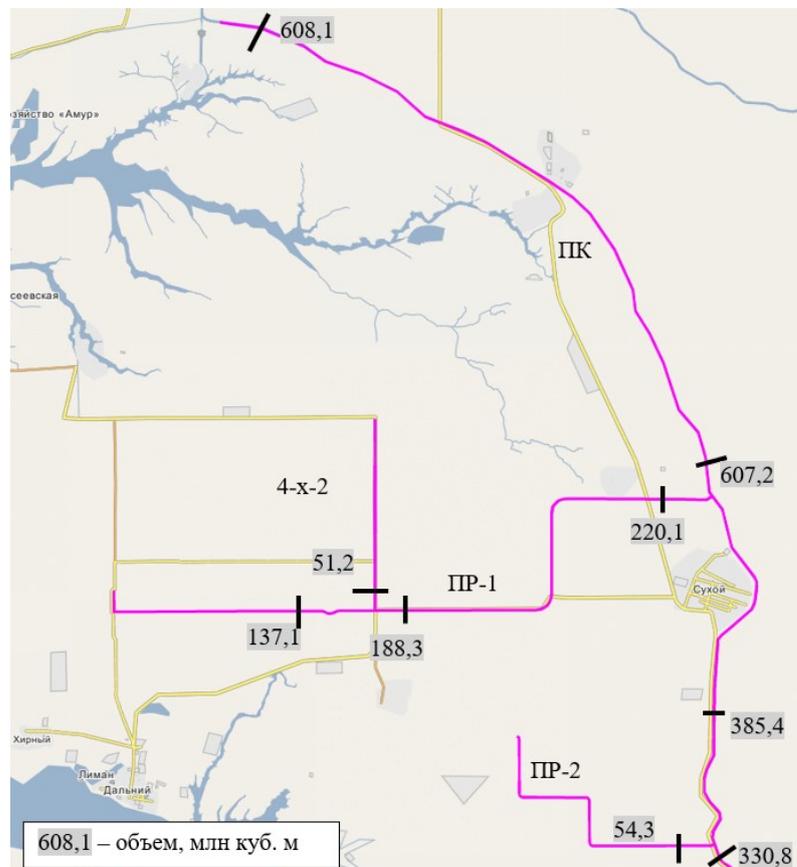


Рисунок 4.6 – Объёмы воды на каждом водовыделе за весь оросительный период (картографический материал SAS.Planet)

Анализ водопользования показал, что около 1 млн м³ уходит на заполнение русла канала на участке от головного сооружения до водовыпуска ПР-1. На данном участке наиболее водоёмким является канал ПР 1, который забирает более 30 % от общего объёма. На участке от водовыпуска ПР-1 до сооружения на ПК 120 общий объём забора воды составляет 32 млн м³. Распределитель 4-х-2 забирает четверть от общего объёма данного распределителя. Канал ПР-2 максимальной пропускной способностью 6 м³/с распределяет объём 54 млн м³. Из данных, полученных в результате моделирования, следует, что более половины объёма распределяется на участке ниже сооружения на ПК 1427 [139].

Расчётные значения объёмов воды, полученные в результате моделирования, могут отличаться от фактических, представляемых в отчётных материалах эксплуатацией, т. к. верификация показала в среднем 10-процентную погрешность модели. Поэтому при дальнейшем сопоставлении объёмов за фактический принят объём, полученный в модели фактического состояния оросительной системы.

Полученные результаты позволили детально проанализировать работу участка оросительной системы, установить расходные и скоростные характеристики потока, определить объёмы водоподачи на каждом водовыпуске и по всей протяжённости канала для дальнейшего анализа водораспределения с использованием программ ЭВМ.

4.1.1 Подбор оптимального режима работы дополнительного регулирующего сооружения

Управление подачей расчётных объёмов воды из ПМК в хозяйственный распределитель осуществляется посредством водовыпуска ПР-1, который расположен на расстоянии 20 км от головного сооружения. Данный водовыпуск включается в

работу по мере заполнения ПМК до рабочих отметок.

Следующий водовыпуск по трассе ПМК находится в 10 км от данного канала и в 300 м от сооружения на ПК 1427 (верхний бьеф). В данном сценарии в модель внесено виртуальное дополнительное сооружение, расположенное на 900 м ниже по течению водовыпуска ПР-1 (ПК-21000). Геометрические характеристики дополнительного сооружения соответствуют головному (рисунок 4.7) [138].

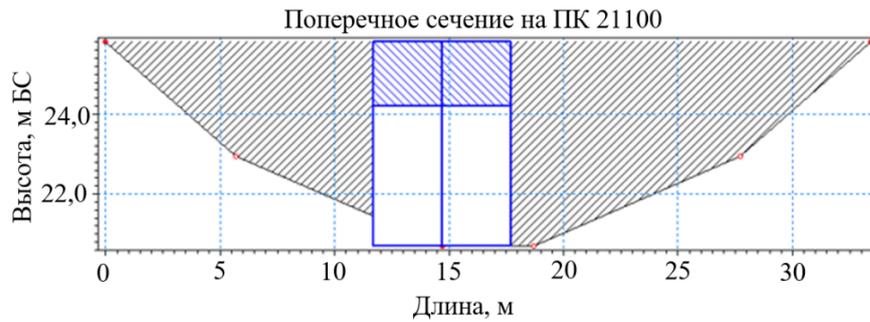


Рисунок 4.7 – Схематическое изображение дополнительного сооружения

Цель данного сценарного исследования – подбор оптимального режима работы дополнительного сооружения и существующего на ПК 1427. Обязательным условием сценария является поддержание необходимых уровней и расходов воды для гарантированного обеспечения водопользователей.

Режим работы дополнительного сооружения автоматически рассчитывается методом итераций, исходя из следующих условий:

- параметры сооружения соответствуют головному;
- максимальное открытие щитов 3,5 м;
- тип контролирующей точки – максимальный расход сооружения;
- тип целевой точки – уровень воды, не превышающий форсированные значения.

Режим работы сооружения на ПК 1427 подобран с учётом влияния дополнительного сооружения.

Результаты. После проведения расчётов определены:

- уровни воды по всей длине магистрального канала (рисунок 4.8);
- расходы и объёмы воды (рисунок 4.9);

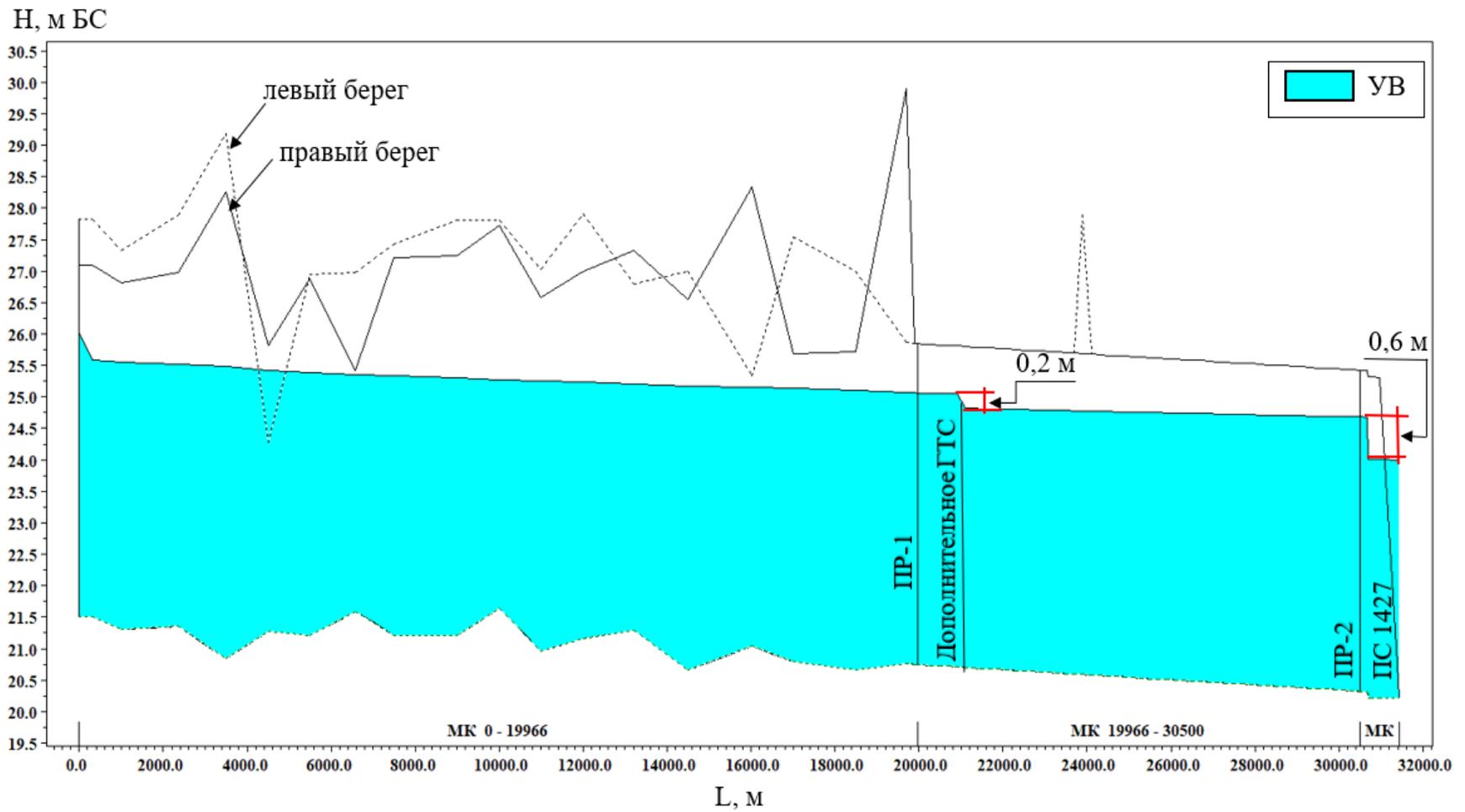


Рисунок 4.8 – Расчётные уровни воды при заданных условиях (программа MIKE FLOOD)

– режим работы сооружений (посуточная отметка затвора) за весь оросительный период (рисунок 4.10).

Установлено, что, несмотря на незначительное снижение уровней воды, полученных в результате расчёта данного сценария, необходимые объёмы водоподачи обеспечиваются. Перепад уровней верхнего и нижнего бьефа дополнительного сооружения при максимальном заполнении составляет 0,2 м, на перегораживающем ПК 1427 – 0,6 м [138].

Графики динамики расходов воды фактических и сценарных имеют схожую форму, различие в абсолютных значениях не превышает 5 м³/с или 3 %. При этом разница в объёмах составляет около 37 млн м³.

Снижение объёмов водоподачи происходит за счёт уменьшения уровня, который не является критическим и обеспечивает необходимые расходы на данном участке. На рисунке 4.9 представлены объёмы, которые получены в данном сценарии.

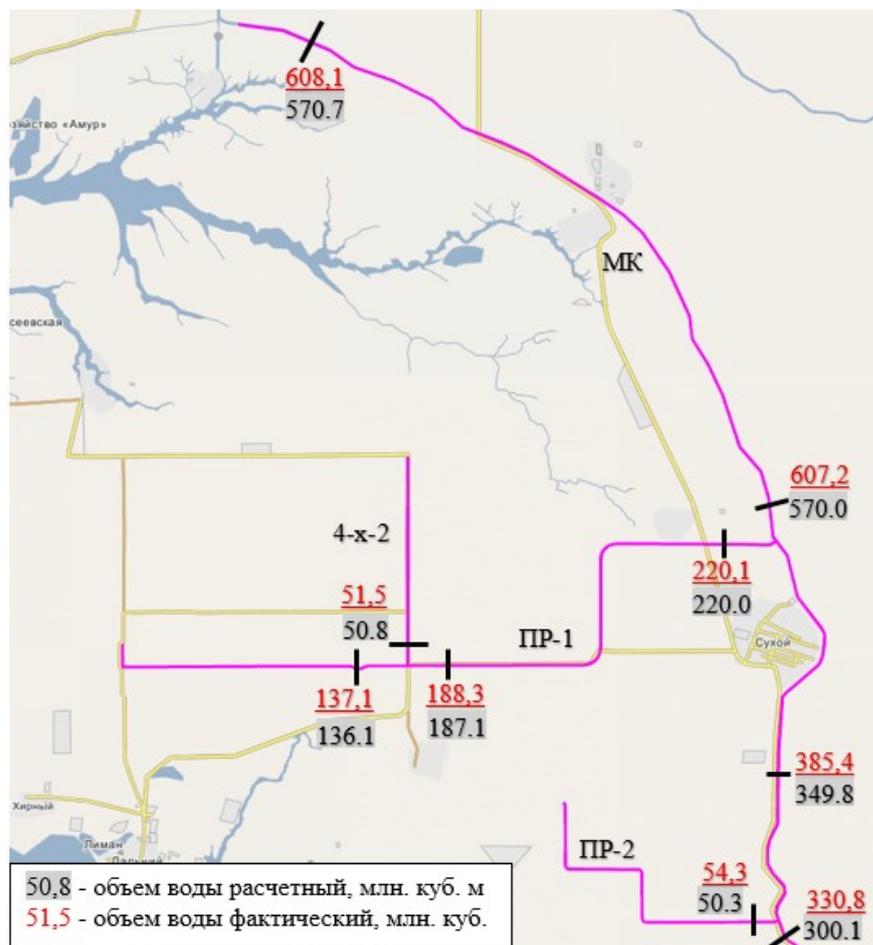


Рисунок 4.9 – Объёмы воды, полученные в результате расчёта (картографический материал SAS.Planet)

Наибольшее снижение объёмов отмечается в магистральном канале (30 млн м³), на межхозяйственных водовыделах изменения незначительны. Это подтверждает, что нет необходимости поддерживать форсированные уровни в канале в течение всего оросительного периода, достаточно рассчитывать и корректировать посуточно эвапотранспирацию и управлять подачей расчётного объёма воды [138].

Расчёты объёмов подачи воды показывают, что для обеспечения заданных условий отметка открытия затвора дополнительного сооружения не должна превышать 24,1 м БС, перегораживающего на ПК 1427 – 21,8 м БС. График режима работы сооружений для получения заданных параметров представлен на рисунке 4.10.

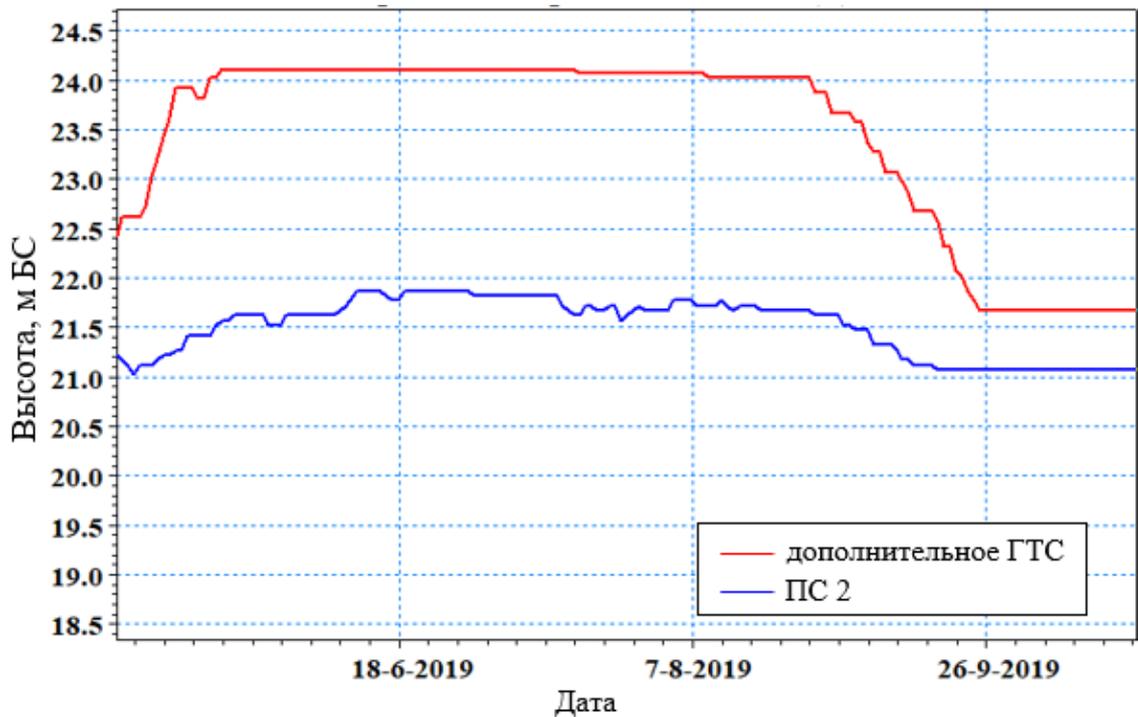


Рисунок 4.10 – Режимы работы регулирующих сооружений (программа MIKE FLOOD)

Исходя из представленных сценарных исследований, можно сделать вывод, что одним из способов уменьшения объёмов водопотребления в условиях маловодности является оперативное управление водораспределением путём устройства дополнительных перегораживающих сооружений в местах расположения водовыпус-

ков. В настоящее время установление геометрических параметров и подбор режимов работы таких сооружений можно производить на компьютерных моделях, используя при этом фактическое состояние оросительных систем [138].

4.2 Водозаборное сооружение для оросительной сети

В настоящее время ввиду неудовлетворительного состояния регулирующих сооружений на оросительных системах процесс управления становится весьма проблематичным, что может приводить не только к недополучению заявленных норм водоподдачи, но и к аварийным ситуациям. Поэтому в рамках данной работы разработано конструктивное решение водозаборного сооружения для оросительной сети с плоским безригельным затвором и автоматической подачей воды в каналы младшего порядка (патент на изобретение № 2728676) (приложение Б) [140].

Изобретение относится к гидромелиоративному строительству и может быть использовано в качестве водозаборного сооружения, содержащего плоский безригельный затвор, имеющий роликовые катки. Затвор перемещается по наклонной плоскости входной части, открывает автоматически входное отверстие для подачи воды из канала старшего порядка в канал младшего порядка за счёт кинетической энергии потока и обеспечивает поддержание расчётного уровня воды в канале младшего порядка. Применение изобретения позволит осуществить автоматическую подачу воды из канала старшего порядка в канал младшего порядка без применения винтовых приводов, управление которыми требует присутствия регулировщика. Компактная конструкция водозаборного сооружения позволяет экономить строительные материалы и количество механизмов при строительстве данного сооружения в сравнении с типовыми сооружениями [140].

Технический результат заявленного изобретения достигается тем, что входная часть канала младшего порядка устраивается в откосе канала старшего порядка (рисунок 4.11). При поднятии водой поплавка вместе с затвором, перемещающимся по наклонной плоскости, открывается входное отверстие водозаборного сооружения, и вода поступает в водобойную часть канала младшего порядка. При достижении уровня воды в канале младшего порядка выше расчётного поплавок-противовес, расположенный в отводящем канале, приподнимется под напором воды и позволит затвору переместиться вниз, прикрыв входное отверстие на некоторую заданную величину, в результате чего уменьшится величина поступающего расхода. При понижении уровня воды в отводящем канале ниже расчётного поплавок-противовес опускается и приподнимает затвор посредством тяг, перекинутых через подвижные блоки. Входное отверстие приоткрывается, пропуская увеличенный расход. Затвор с поплавком и поплавок-противовес в нерабочем состоянии (при отсутствии воды в канале старшего порядка) взаимно уравниваются с минимальным перевесом затвора с поплавком. В случае необходимости перекрыть входное отверстие (прекратить подачу воды в канал младшего порядка), поплавок-противовес поднимается до перекладины с помощью запасного троса. Затвор с поплавком под действием собственного веса опускается в нижнее положение, перекрывая входное отверстие водозаборного сооружения.

Конструкция водозаборного сооружения для оросительной сети включает следующие элементы (рисунки 4.11–4.13): полотно затвора 1, перемещающееся в направляющих пазах швеллеров 2; поплавок-камеру 3 для перемещения затвора под действием давления воды; упор 4 для нижней части затвора; детали крепления 5 затвора к ныряющим стенкам 6 (устроенным в откосе 11) входного оголовка мелиоративного канала младшего порядка; поплавок-противовес 7; перекладину 8, с установленными на ней подвижными блоками 9; железобетонную плиту 10, перекрывающую пролёт оголовка, уложенную на береговые устои 14 в дамбе канала 12; запасной трос 13 для поднятия поплавок-противовеса до перекладины 8 [140].

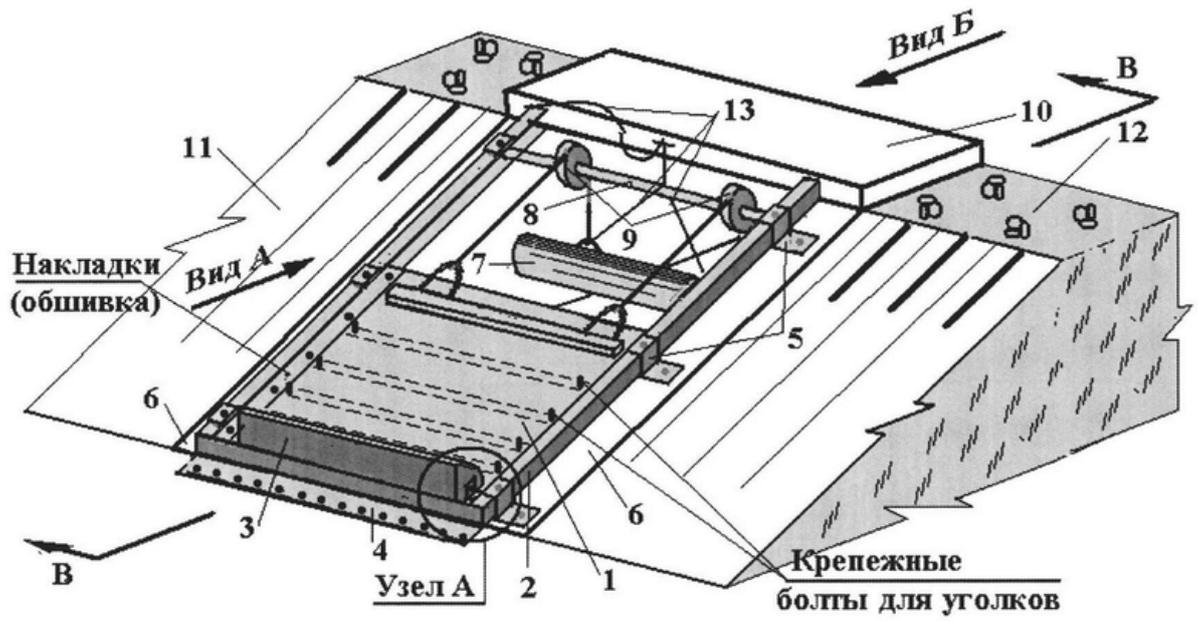


Рисунок 4.11 – Схема разработанного водозаборного сооружения [140]

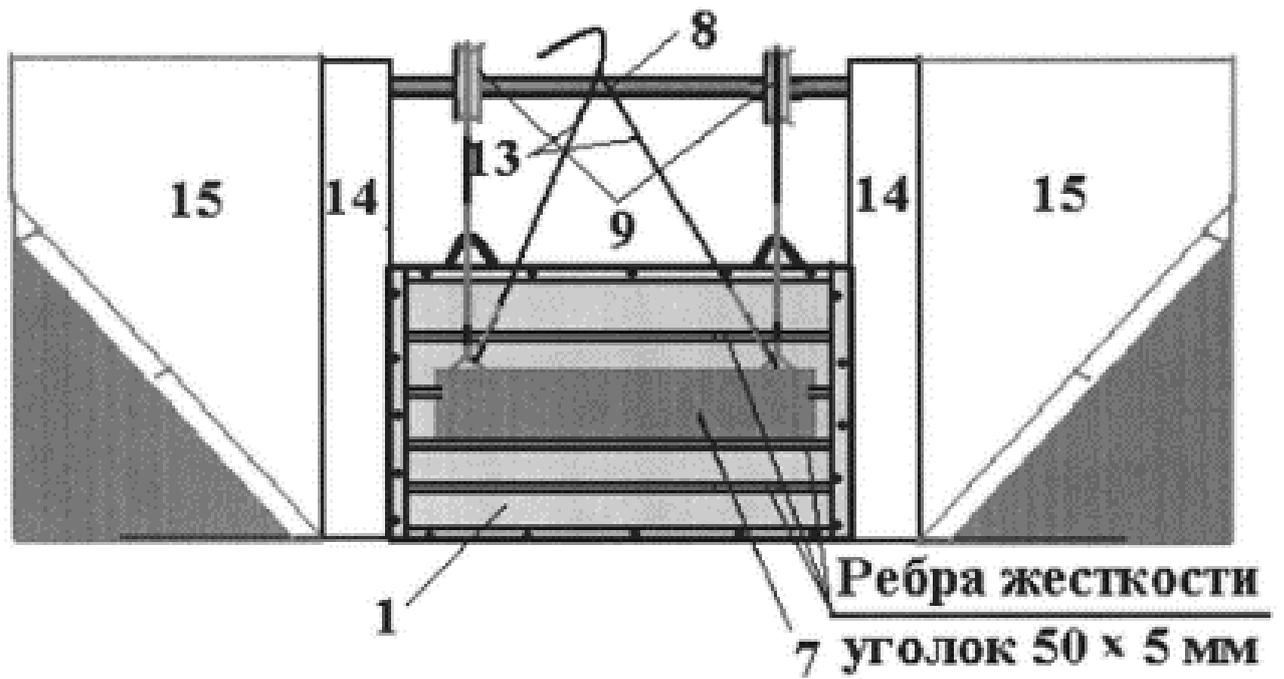


Рисунок 4.12 – Схема разработанного водозаборного сооружения (Вид В) [140]

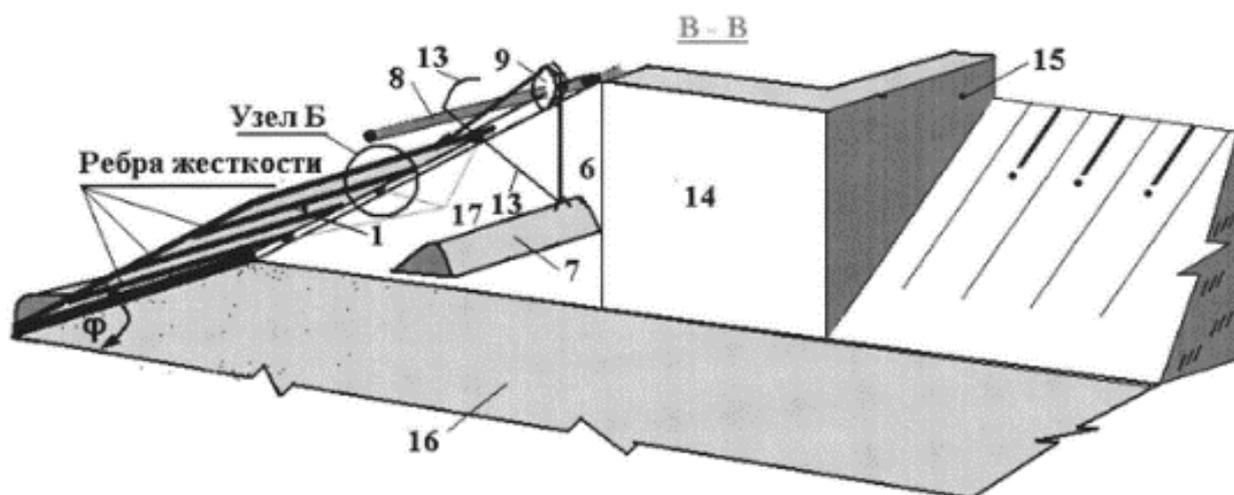


Рисунок 4.13 – Схема разработанного водозаборного сооружения
(Вид В – В) [140]

4.3 Результаты водобалансовых исследований

В отличие от орошения сельскохозяйственных культур дождеванием, в полевых севооборотах рисовых оросительных систем применяется поверхностный полив риса затоплением в чеках, который имеет свои особенности, технику и технологию орошения. Отличается также технология полива сопутствующих культур, которые занимают в рисовых севооборотах 40–50 % от всей площади. Строительство рисовых оросительных систем с созданием множества мелких участков – чеков для полива риса поверхностным способом меняет и технологию орошения сопутствующих культур, т. к. использование современных широкозахватных дождевальными машин невозможно из-за созданных огораживающих валиков чеков и оросительных сетей в виде каналов и для орошения и сброса воды из чеков и рисовых карт.

Если технологии орошения полевых культур изучены довольно широко, имеются рекомендации [141], методики [142] и ГОСТ по нормативам водопотребности [143], то технология орошения риса и сопутствующих культур изучена недостаточно в связи со сложностью и трудностями проведения водобалансовых исследований.

Известно, что эвапотранспирация растений, возделываемых в полевых условиях, происходит путём испарения воды с поверхности почвы и транспирации самими растениями в процессе роста и развития. На рисовых системах эвапотранспирация складывается из испарения с водной поверхности затопленных чеков и транспирации самих растений. Эти два процесса сложно учесть отдельно, поэтому такие исследования проводятся на специальных водобалансовых площадках с использованием гидрологических лизиметров и испарителей.

У риса и сопутствующих культур рисового севооборота в первые периоды роста и развития растений вода расходуется, в основном, на испарение с поверхности почвы и водной поверхности чеков, но по мере развития растений и увеличения проективного покрытия поверхности почвы растениями, основная доля эвапотранспирации приходится на транспирацию, т. е., если в период посева до получения всходов почти 100 % эвапотранспирации (ЕТ) приходится на долю испарения с водной поверхности или почвы, то в дальнейшем эта доля расхода воды уменьшается, а доля, приходящаяся на транспирацию, по данным [144], увеличивается до 70–80 %.

Получение достоверных данных о долях воды, приходящихся на испарение или транспирацию, возможно только на водобалансовых площадках с использованием гидрологических лизиметров. Лизиметрический метод предполагает исследование растений и свойств почвы в полевых опытах для изучения приходной и расходной части баланса влаги или, например, элементов питания [116, 145–147].

В наших опытах, изолируя в лизиметрах корневую зону от окружающей среды и контролируя процессы испарения и транспирации, которые трудно измерить без лизиметров, исследовались различные составляющие водного баланса [148].

В опыте по изучению водного баланса риса на научном полигоне ФГБНУ «РосНИИПМ» использовались гидрологические лизиметры (далее – лизиметры) с монолитами, отобранными в день посева в рисовых чеках в ООО «Маньч-Агро» с уже посеянным рисом, где проводились наблюдения за составляющими водного баланса риса. Расстояние от рисового севооборота ООО «Маньч-Агро» до полигона РосНИИПМ составляло по прямой менее 6 км. Первичное затопление проводилось уже в лизиметрах на полигоне РосНИИПМ. Исследования в лизиметрах проводились от посева и до созревания, полученные данные сравнивались с испарением с водной поверхности испарителей.

Хотя рис является влаголюбивым растением и выдерживает продолжительное затопление от посева и до созревания, но ранее проводимые исследования в Ростовской области и Краснодарском крае показали, что растения риса в определённые периоды развития требовательны к доступу воздуха, повышая всхожесть и выживаемость растений. К таким периодам относятся фенологические фазы роста всходы и кущение, когда доступ кислорода к прорастающим семенам повышает всхожесть в два-три раза, а растениям, проходящим фазу кущения, – сохранность, продуктивную кустистость, увеличивает ростовые процессы и урожайность риса.

В опытах и в производственных условиях в ООО «Маньч-Агро» рис возделывался с использованием наиболее распространённого режима орошения – при укороченном затоплении, когда посева рисы затапливались слоем воды после посева, в фазу всходов вода сбрасывалась, затем снова чеки затоплялись, а в период начала кущения вода опять сбрасывалась на 6–10 дней, а затем снова чеки затоплялись и поддерживался заданный уровень воды до созревания. В начале созревания подача воды прекращалась, и к моменту уборки вода испарялась и впитывалась в почву.

Для определения обеспеченности вегетационного периода риса по испаряемости нами проведён анализ испаряемости за 37-летний ряд наблюдений (рисунок 4.14).

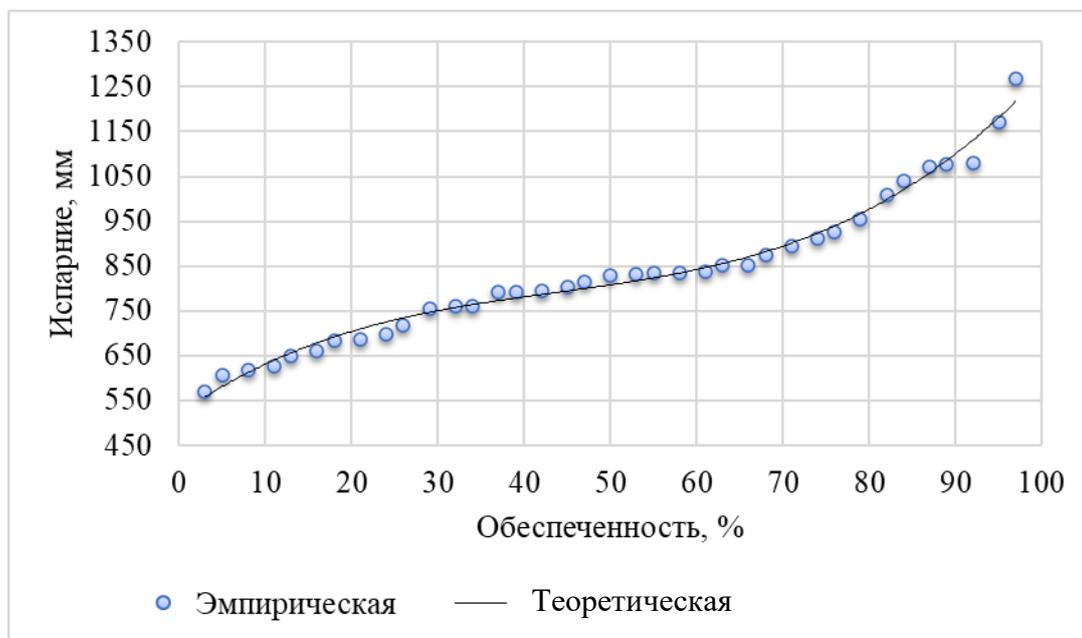


Рисунок 4.14 – Кривые обеспеченности испаряемости

Годы исследований (2018–2020 гг.) характеризуются как сухие и очень сухие. Оросительная норма риса в опытах и в полевых (производственных) условиях за годы исследований составляла 30180 м³/га в наиболее сухом 2018 г., с обеспеченностью года по испаряемости 95 %, 28480 м³/га в наиболее влажном 2019 г., с обеспеченностью года по испаряемости 74 % (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Поливной режим риса в производственных посевах

ООО «Маньч-Агро» в годы исследований, 2018–2020 гг.

Год	Обеспеченность года по испаряемости, %	Оросительная норма, м ³ /га	В том числе эвапотранспирация
2018	95	30180	10014
2019	74	28480	9257,5
2020	84	29360	10084,1
Средняя	86	29340	9785,0

Учёты оросительной воды, поданной на орошение риса на производственных участках ООО «Маньч-Агро», показали, что оросительная норма состояла из испарения воды с поверхности почвы (в периоды всходов, кущения и созревания), с поверхности воды затопленных чеков, потерь на первичное промачивание почвы,

фильтрацию в период вегетации риса, технологических сбросов и создания проточности на засоленных землях, повышающих до предела концентрацию солей в оросительной воде чеков и требующих обмена воды в чеках. В производственных условиях средняя оросительная норма за 2018–2020 гг. составила 29340 тыс. м³/га.

Данные испарения и транспирации устанавливались исследованиями в лизиметрах, а остальные показатели оросительной нормы (потери, технологические сбросы и пр.) определялись по фактически поданным объёмам воды в опытные чеки и технологических сбросов воды.

Наиболее точно учесть расходные части оросительной нормы риса возможно только при исследовании водного баланса в лизиметрах, когда потери на фильтрацию исключаются, а первичное промачивание почвы и технологические сбросы возможно измерить с большой точностью.

Для исследования особенностей и динамики изменения испарения воды с водной поверхности в испарителях и в лизиметрах с растущими растениями риса проводились учёты испарения с интервалом пять дней (пентадами) (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Испарение с водной поверхности и эвапотранспирация в лизиметрах, 2018–2020 гг.

№ пентады от посева	Испарение с водной поверхности в испарителе, мм		Эвапотранспирация в лизиметрах, мм					
	Средняя за сутки	Нарастающим итогом	Всего		В том числе			
					испарение		транспирация	
			Средняя за сутки	Нарастающим итогом	Средняя за сутки	Нарастающим итогом	Средняя за сутки	Нарастающим итогом
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3,5	21,5	3,6	21,8	3,6	21,8	0	0
2	3,9	41,2	4,0	41,8	4,0	41,8	0	0,0
3	3,7	59,6	3,8	60,8	3,8	60,8	0	0,0
4	2,9	74,0	3,0	75,7	3,0	71,8	0,77	3,9

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	5,3	100,6	5,3	102,1	3,9	91,9	1,48	10,2
6	4,6	123,5	4,5	124,8	3,3	108,3	1,33	16,6
7	5,8	152,4	5,7	153,5	4,0	128,0	1,78	25,5
8	6,1	182,9	6,0	183,6	4,2	148,5	1,93	35,1
9	7,7	221,2	7,6	221,8	5,2	173,0	2,75	48,9
10	7,7	259,7	7,6	259,8	4,9	195,0	3,19	64,8
11	6,9	294,4	6,8	293,7	3,9	214,0	2,99	79,7
12	9,0	339,3	8,8	337,9	4,9	237,4	4,15	100,5
13	8,8	383,5	8,7	381,5	4,6	259,7	4,28	121,9
14	9,2	429,4	9,1	427,3	4,7	279,8	5,12	147,5
15	8,0	469,4	8,0	467,2	3,5	293,9	5,15	173,2
16	8,5	511,7	8,4	509,2	3,0	306,5	5,88	202,6
17	14,6	584,6	14,5	581,9	4,4	325,4	10,77	256,5
18	10,1	635,1	10,6	635,1	2,8	345,1	6,70	290,0
19	8,8	678,9	10,0	685,3	3,7	361,2	6,83	324,1
20	8,6	721,7	10,0	735,1	3,2	376,6	6,88	358,5
21	7,3	758,1	8,6	778,2	2,7	397,3	4,48	380,9
22	5,6	785,9	6,9	812,8	3,3	412,9	3,80	399,9
23	4,9	810,3	5,3	839,3	2,4	424,0	3,07	415,3
24	5,6	838,5	5,2	865,2	2,2	438,0	2,38	427,2
25	5,5	866,2	5,5	892,5	3,0	453,3	2,41	439,2
26	7,3	902,8	7,3	928,9	4,1	474,1	3,13	454,9
27	5,8	931,8	5,7	957,6	3,3	490,7	2,41	466,9
28	4,2	952,9	4,2	978,5	2,4	502,8	1,76	475,7

Как известно, эвапотранспирация (суммарное водопотребление) состоит из двух составляющих – испарения и транспирации. Для определения доли каждой составляющей проводятся исследования в лизиметрах, в которых, в отличие от испарителей, учитываются испарение и транспирация. По этим результатам построены кривые изменения суммарного испарения и транспирации (рисунок 4.15).

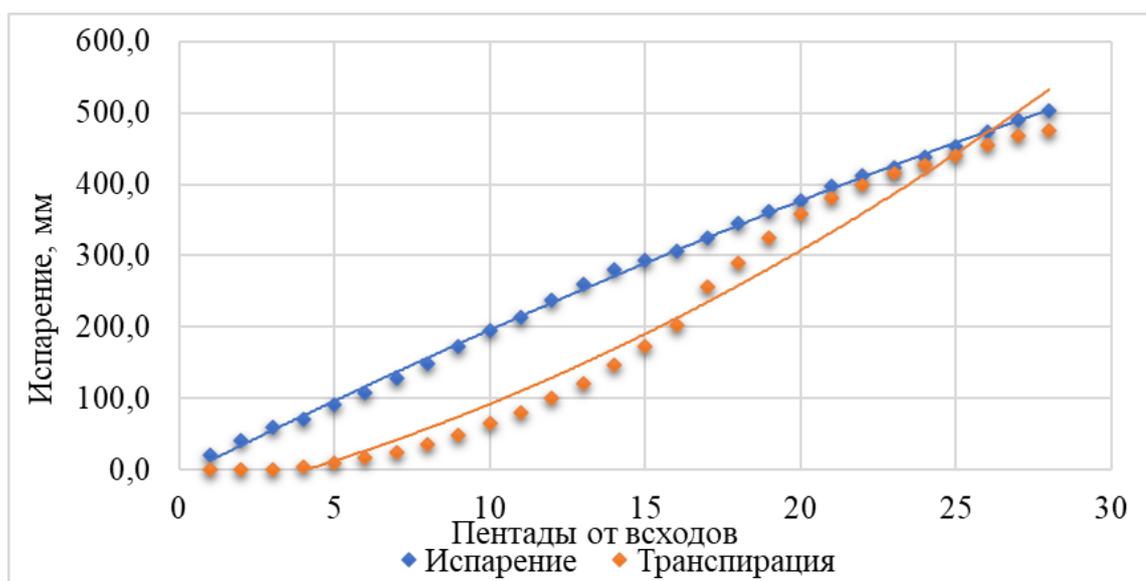


Рисунок 4.15 – Кривые изменения суммарного испарения и транспирации нарастающим итогом по результатам наблюдений в лизиметрах, 2018–2020 гг.

Для определения особенностей эвапотранспирации риса и уточнения показателей транспирации в доле эвапотранспирации, согласно методике [117], в течение всего периода вегетации проводились исследования транспирации риса в гидрологических лизиметрах в основные фазы роста и развития риса (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Исходные данные определения транспирации по методу Л. И. Иванова, сорт риса «Флагман», опытный участок лизиметров научного полигона РосНИИПМ, осредненные данные за 2018–2020 гг.

Фаза развития риса	Индекс площади листовой поверхности риса, м ² /м ²	Транспирация		
		Учёты с 1 м ² посева, г		мм/сут
		за 1 час, г/м ²	за сутки г/м ²	
Кущение	3,13	64,1	1539	1,52
Выход в трубку	4,33	148,2	3556	3,56
Выметывание	6,83	322,9	7750	7,74
Цветение	7,22	366,4	8793	8,77
Молочная спелость	6,53	239,6	5751	5,73
Полная спелость	4,23	85,1	2042	2,03

Индекс листовой поверхности риса увеличивается от 3,13 м²/м² в фазу кущения до 7,22 м²/м² в фазу цветения, а затем снижается из-за пожелтения и увядания нижних листьев.

По полученным данным построен график взаимосвязи индекса площади листовой поверхности и транспирации растений риса. Установлена тесная связь динамики площади листовой поверхности с величиной транспирации (рисунок 4.16).

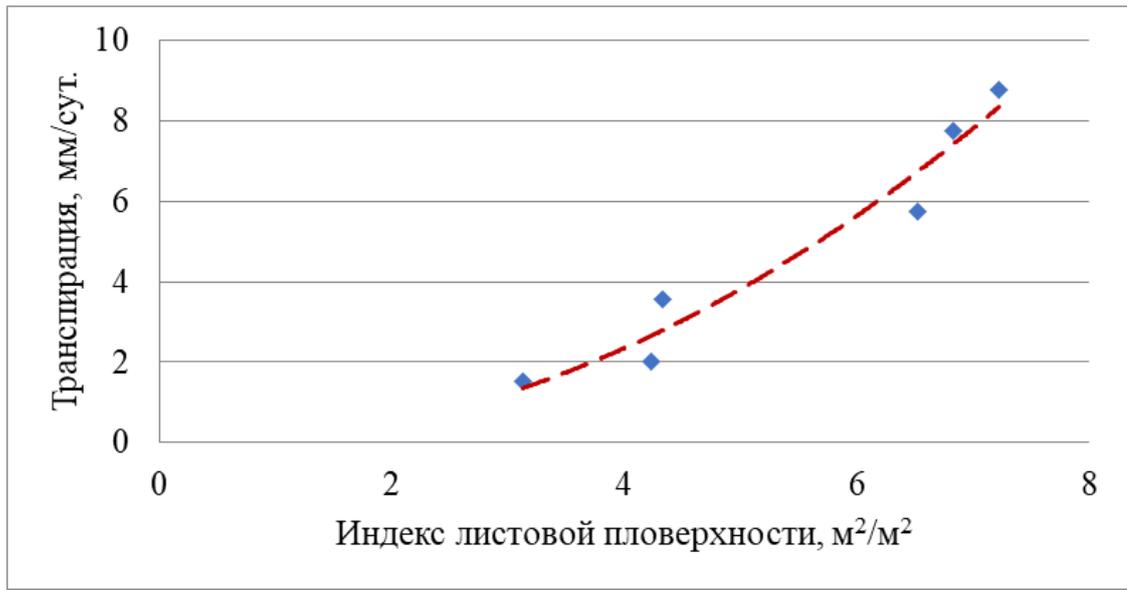


Рисунок 4.16 – Взаимосвязь индекса площади листовой поверхности и транспирации растений риса в лизиметрах, 2018–2020 гг.

Получено уравнение зависимости с коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,95$, которое имеет вид:

$$N_{\text{тр}} = 0,1757 I_i^2 - 0,1152 I_i, \quad (4.1)$$

где $N_{\text{тр}}$ – транспирация, мм/сут;

I_i – индекс листовой поверхности, м²/м².

Данные транспирации растений риса по отдельным фазам роста и развития не дают полной картины суммарного испарения, потому что они характеризуют определённый момент времени роста и развития. Поэтому для объективности исследования необходимы данные в динамике от посева до созревания по периодам роста и развития риса (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Эвапотранспирация риса по периодам роста и развития, лизиметры, осредненные данные 2018–2020 гг.

Период роста	Продолжительность периода, сутки	Эвапотранспирация в лизиметрах, мм					
		Всего		В том числе			
				испарение с водной поверхности		транспирация	
		средняя за сутки	сумма за период	среднее за сутки	сумма за период	средняя за сутки	сумма за период
Посев – всходы	23	4,1	95,1	4,1	95,1	0	0
Всходы – кущение	25	6,1	150,7	4,3	106,4	1,8	44,2
Кущение – выход в трубку	18	8,2	144,5	4,3	76,3	3,9	68,2
Выход в трубку – выметывание	17	9,8	163,1	3,5	57,8	6,3	105,3
Выметывание – цветение	10	12,3	123,4	3,2	32,1	9,1	91,4
Цветение – молочная спелость	15	9,2	134,2	3,2	47,0	5,9	87,3
Молочная спелость – восковая спелость	16	4,7	73,1	2,1	32,9	2,6	40,2
Восковая спелость – полная спелость	15	6,2	92,3	3,5	52,6	2,6	39,7
ИТОГО	138	–	976	–	500	–	476
В среднем за сутки	–	7,6	–	3,5	–	4,0	–
НСР	–	2,32	–	0,62	–	0,77	–

Данные таблицы 3.5 показывают, что эвапотранспирация составила в среднем за три года 976 мм, в том числе испарение с водной поверхности в лизиметрах – 500 мм и транспирация растений – 476 мм. Показатели эвапотранспирации зависели, в основном, от продолжительности периода и были наибольшими в период всходы – кущение 150,7 мм за 25 сут, в том числе испарение 106 мм и транспирация 44 мм и в период кущение – выход в трубку 144 мм за период продолжительностью 18 сут, в том числе испарение – 76 мм и транспирация – 68 мм. При этом среднесуточные показатели эвапотранспирации достигают 12,3 мм/сут в период выметывания – цветения.

Полученные кривые испарения и транспирации показывают, что транспирация увеличивается по мере роста растений и достигает максимума 7,5 мм/сут в период с самыми интенсивными темпами нарастания надземной массы растений риса, приходящееся на 90–100 сут после посева, а затем снижается (рисунок 4.17).

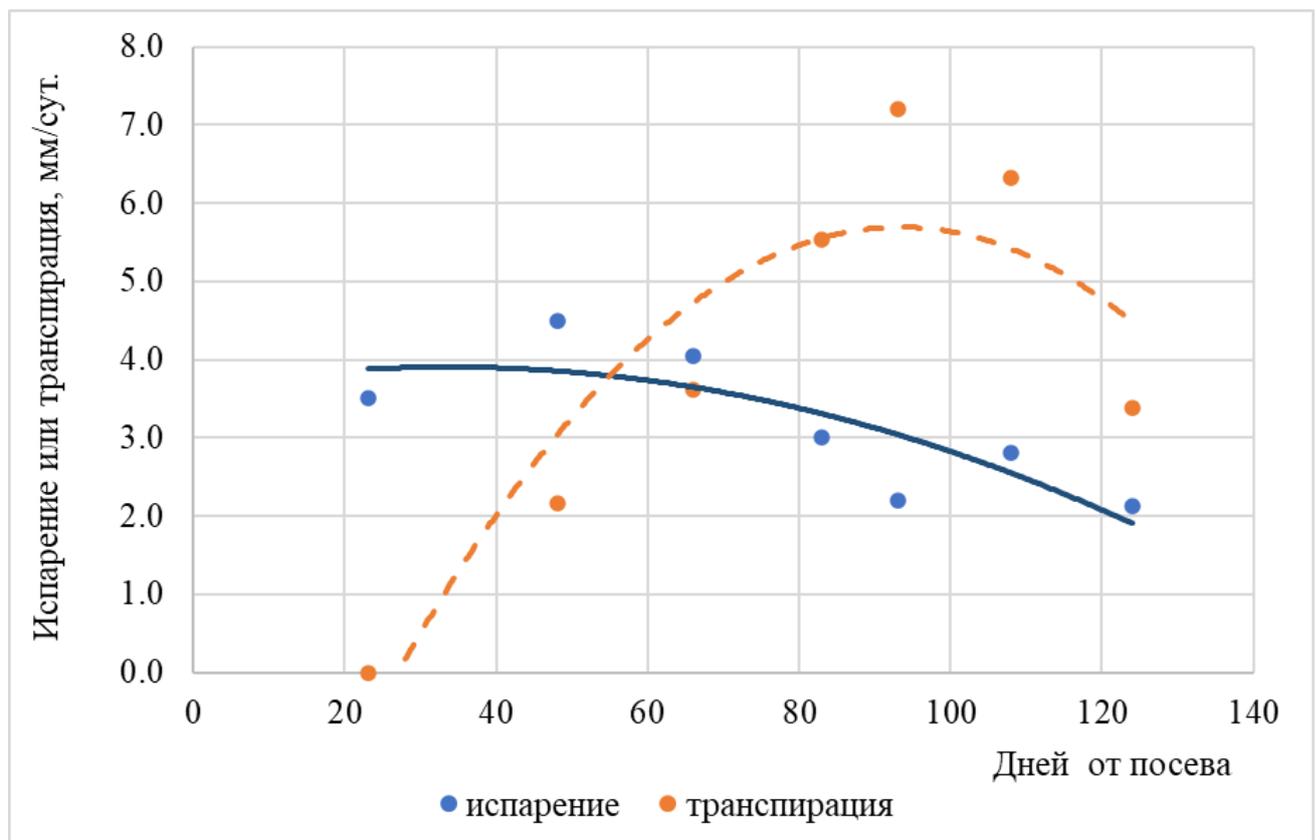


Рисунок 4.17 – Кривые испарения и транспирации риса в лизиметрах, 2018–2020 гг.

Исследования показали, что с развитием листовой поверхности риса и увеличением проективного покрытия поверхности воды величина испарения уменьшается с 5,4 мм/сут в период всходы – кущение до 2,1 мм/сут к периоду созревания, уменьшается в среднем за сутки почти в два раза. Поэтому при расчётах испарения с водной поверхности чеков необходимо делать поправки на снижение испарения с водной поверхности под покровом растений риса по сравнению с испарителями. Нами получен поправочный коэффициент и уравнение, учитывающее снижение испарения (рисунок 4.18), которые используются в алгоритмах.

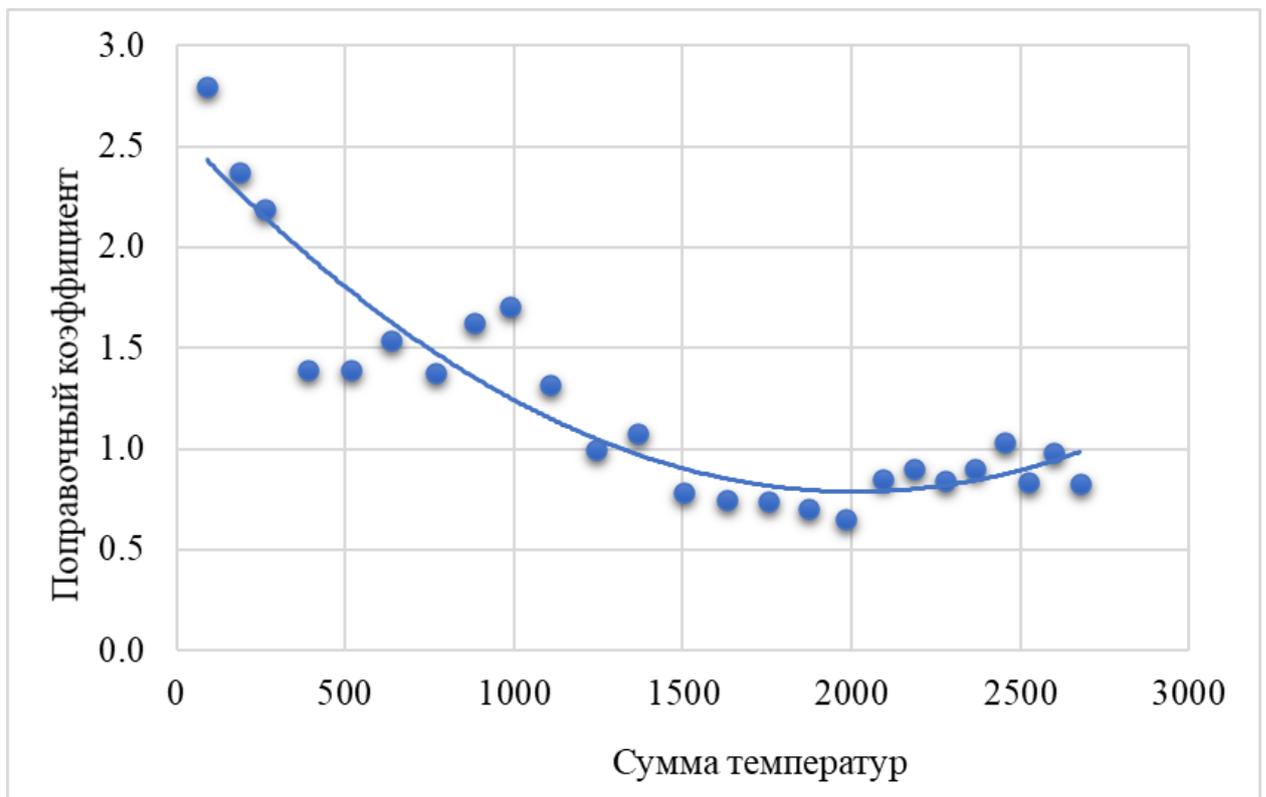


Рисунок 4.18 – Поправочный коэффициент к испарению с рисового поля

Уравнение с высоким коэффициентом аппроксимации $R^2 = 0,86$ имеет вид:

$$k_{\text{ч}} = 0,00004 - 07 T_{\text{ит}}^2 - 0.0018 T_{\text{ит}} + 2.5903, \quad (4.2)$$

где $k_{\text{ч}}$ – поправочный коэффициент к испарению с рисового поля;

$T_{\text{ит}}$ – сумма температур, °С.

Сравнительный анализ расчётных методов эвапотранспирации по метеорологическим данным и результатам экспериментов представлен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Сравнительный анализ расчётных методов эвапотранспирации и экспериментальных данных

Метод расчёта	Эвапотранспирация, мм	Отклонение от К1, %
А. Н. Костякова [128]	680	31
Г. К. Льгова [129]	344	75
Н. Н. Иванова [130]	935	4,4
В. П. Остапчик [131]	800	18
Полевые опыты:		
– в лизиметрах (К1)	978	0
– в рисовом чеке (К2)	952	2,7

Данные таблицы 4.5 показывают, что для условий Ростовской области при расчёте водопотребности риса по метеорологическим параметрам наиболее приемлемыми являются методы Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика. Эвапотранспирация, рассчитанная по формуле Н. Н. Иванова с использованием данных метеостанции Багаевская Ростовской области, составила 935 мм, а по формуле В. П. Остапчика – 800 мм. Разница, по сравнению с опытными данными, полученными в лизиметрах, находилась в пределах соответственно 4,4 % и 18 %.

Таким образом, проанализировав существующие методы расчёта эвапотранспирации по метеорологическим параметрам, можно отметить, что не все они подходят для риса. Из общей группы можно выделить методы Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика как наиболее приемлемые.

В таблице 4.6 представлены результаты расчёта испаряемости по Н. Н. Иванову (модифицированной формуле Н. В. Данильченко [137]), в сравнении данными по испарителям.

Таблица 4.6 – Показатели испарения нарастающим итогом от посева, полученные разными методами, в среднем за 2018–2020 гг.

№ пен- тады от посева	Испарение с водной поверхности, мм			
	испаритель		испарение расчётное по Н. Н. Иванову, за сутки, мм	нарастающим итогом
	за сутки	нарастающим итогом		
1	4	5	6	7
1	3,5	21,5	3,6	22,1
2	3,9	41,2	4,1	42,4
3	3,7	59,6	3,9	62,0
4	2,9	74,0	3,0	77,2
5	5,3	100,6	5,2	103,3
6	4,6	123,5	4,5	125,6
7	5,8	152,4	5,6	153,8
8	6,1	182,9	5,9	183,3
9	7,7	221,2	7,6	221,2
10	7,7	259,7	7,5	258,6
11	6,9	294,4	6,7	291,9
12	9,0	339,3	8,7	335,2
13	8,8	383,5	8,6	378,3
14	9,2	429,4	9,0	423,2
15	8,0	469,4	7,8	462,2
16	8,5	511,7	8,3	503,6
17	14,6	584,6	14,4	575,7
18	10,1	635,1	9,9	625,3
19	8,8	678,9	8,5	667,8
20	8,6	721,7	8,4	709,5
21	7,3	758,1	7,1	744,9
22	5,6	785,9	5,4	771,9
23	4,9	810,3	4,7	795,5
24	5,6	838,5	5,5	823,1
25	5,5	866,2	5,4	850,2
26	7,3	902,8	7,2	886,3

Продолжение таблицы 4.6

1	4	5	6	7
27	5,8	931,8	5,7	914,7
28	4,2	952,9	4,1	935,4

Сравнение данных испарения нарастающим итогом от посева до созревания (см. таблицу 4.6) показало, что испаряемость составляет 952,9 мм для испарителя, 935,4 мм – при расчете по методу Н. Н. Иванова. Причём значения испарения, измеренного испарителем и полученного расчётным методом Н. Н. Иванова, очень близки. Расхождения в среднем за три года составили 1,84 %.

4.4 Расчёт норм водопотребности и водоотведения с рисовых оросительных систем

На основании анализа научной литературы установлено, что для оценки влияния различных агроклиматических условий на нормы водопотребления риса, сопутствующих культур и водоотведения с рисовых оросительных систем необходимо учитывать следующие показатели [150, 151]:

– климатические условия:

1) температурный режим (в том числе сумма температур, продолжительность безморозного периода) для подбора сортов риса, наиболее приспособленных к данным условиям;

2) испаряемость с водной поверхности (зависящая от следующих основных факторов: температура, относительная влажность воздуха и скорость ветра за расчётный период времени) для получения поправочных коэффициентов и корректировки норм водопотребности риса;

3) коэффициенты увлажнения (K_y) для районирования территории России по увлажнению и разработки нормативов водопотребности риса и водоотведения с рисовых оросительных систем, т. к. K_y является интегрированным показателем обеспеченности потребности растений в тепле и влаге в годы с различной обеспеченностью дефицита водного баланса;

– почвенно-мелиоративные условия:

1) типы почвы и их плодородие (для планирования агротехнических приёмов обработки почвы, норм и сроков внесения удобрений);

2) показатели засоления и осолонцевания почвы для расчёта проточности воды на рисовом поле, корректировки оросительной нормы, определения необходимости химической мелиорации и промывного режима сопутствующих культур;

3) глубина залегания грунтовых вод и их минерализация для корректировки оросительной нормы, влагонасыщения почвогрунтов при затоплении чеков и установления необходимости промывного режима;

4) водно-физические свойства почвы (влагоёмкость, плотность сложения, скорость фильтрации и др.);

– биологические и агроэкологические требования сортов риса к условиям произрастания:

1) соблюдение продолжительности вегетационного периода;

2) обеспечение проточности и обновления воды в чеках для новых интенсивных сортов риса;

3) наблюдение за реакциями растений риса в различные фазы роста и развития.

При наличии вышеперечисленных показателей можно рассчитывать и корректировать нормативы водопотребности и водоотведения с рисовых оросительных систем для различных зон страны по фактическим данным, полученным в исследованиях на опытных полях в конкретных условиях отдельной зоны K_y . Это позволяет распространить полученные данные исследований, полученные в одной определённой зоне, на другие агроклиматические зоны с подобным коэффициентом увлажнения путём использования разрабатываемых поправочных коэффициентов к нормативам водопотребления и водоотведения.

4.4.1 Нормы водопотребности риса и сопутствующих культур

На основе полевых исследований, разработанных алгоритмов и расчётов нами получены нормы водопотребности риса и сопутствующих культур (нетто и брутто) [153, 154, 155]. Нормы водопотребности для условий Ростовской области получены на территориях, занятых рисовыми оросительными системами с различными почвенно-мелиоративными и агроклиматическими условиями: с коэффициентами увлажнения $K_y = 0,3-0,4$ и $K_y = 0,4-0,45$; на землях с различным агрегатным составом (глина, суглинок тяжёлый, суглинок, супесь) и суточным коэффициентом фильтрации от 0,001 до 0,005 мм/сут; степенью засоления грунтов от 0,1 до 0,3 %; уровнем грунтовых вод от 1 до 4 м и обеспеченностью года по испарению с водной поверхности от 5 до 95 % обеспеченности [155]. Полученные нормы водопотребности приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Нормы водопотребности риса (брутто)

Коэффициент увлажнения, K_y	Гранулометрический состав почвы	Степень засоления грунтов, %	УГВ, м	Нормы водопотребности риса (мм) при различной обеспеченности года по испаряемости, %				
				5	25	50	75	95
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,3–0,4	Глина	Не засолены	До 1	1 710	1 788	1 871	1 909	1 988
			2	1 867	1 945	2 028	2 066	2 146
			3	2 010	2 088	2 171	2 209	2 288
			4	2 153	2 231	2 314	2 352	2 431
		Слабо засолены = 0,1	До 1	1 787	1 865	1 948	1 986	2 064
			2	1 944	2 022	2 105	2 143	2 221
			3	2 087	2 165	2 248	2 286	2 364
			4	2 230	2 308	2 390	2 429	2 507

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Средне засолены = 0,2	До 1	1 867	1 944	2 027	2 065	2 144
			2	2 023	2 101	2 184	2 222	2 302
			3	2 166	2 244	2 327	2 365	2 444
			4	2 309	2 387	2 470	2 508	2 587
		Сильно засолены = 0,3	До 1	1 925	2 003	2 086	2 125	2 203
			2	2 132	2 210	2 293	2 332	2 411
			3	2 275	2 353	2 436	2 474	2 554
			4	2 418	2 496	2 579	2 617	2 696
0,3–0,4	Тяжёлый суглинок	Не засолены	До 1	1 871	1 949	2 030	2 070	2 148
			2	2 042	2 119	2 202	2 240	2 320
			3	2 207	2 284	2 366	2 405	2 484
			4	2 363	2 441	2 524	2 562	2 641
		Слабо засолены = 0,1	До 1	1 871	1 990	2 071	2 111	2 189
			2	2 083	2 192	2 266	2 314	2 444
			3	2 248	2 324	2 407	2 446	2 525
			4	2 404	2 482	2 564	2 603	2 682
		Средне засолены = 0,2	До 1	1 838	1 915	1 998	2 036	2 116
			2	2 010	2 087	2 170	2 208	2 287
			3	2 173	2 251	2 334	2 372	2 452
			4	2 330	2 408	2 491	2 530	2 608
	Сильно засолены = 0,3	До 1	2 084	2 164	2 246	2 285	2 363	
		2	2 256	2 335	2 418	2 456	2 534	
		3	2 420	2 500	2 581	2 621	2 699	
		4	2 578	2 656	2 738	2 778	2 856	
	Суглинок, супесь	Не засолены	До 1	2 010	2 088	2 171	2 209	2 288
			2	2 174	2 252	2 335	2 374	2 452
			3	2 339	2 417	2 500	2 538	2 616
			4	2 525	2 602	2 684	2 724	2 802
Слабо засолены = 0,1		До 1	2 087	2 165	2 248	2 286	2 364	
		2	2 266	2 342	2 425	2 465	2 543	

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9		
			3	2 437	2 514	2 597	2 635	2 714		
			4	2 602	2 678	2 761	2 800	2 879		
		Средне засо- лены = 0,2	До 1	2 166	2 244	2 327	2 365	2 444		
			2	2 345	2 423	2 506	2 544	2 622		
			3	2 516	2 594	2 676	2 716	2 794		
			4	2 681	2 758	2 840	2 880	2 958		
		Сильно засо- лены = 0,3	До 1	2 225	2 303	2 386	2 424	2 503		
			2	2 404	2 482	2 564	2 603	2 682		
			3	2 574	2 653	2 736	2 774	2 852		
			4	2 738	2 818	2 900	2 939	3 017		
		0,4–0,45	Глина	Не засо- лены	До 1	1 622	1 735	1 870	1 979	2 159
					2	1 778	1 892	2 027	2 136	2 316
					3	1 921	2 035	2 170	2 279	2 459
					4	2 064	2 178	2 312	2 422	2 602
				Слабо засо- лены = 0,1	До 1	1 698	1 812	1 946	2 056	2 234
					2	1 855	1 969	2 104	2 213	2 392
3	1 998				2 112	2 246	2 356	2 534		
4	2 141				2 255	2 389	2 498	2 677		
Средне засо- лены = 0,2	До 1			1 778	1 891	2 026	2 135	2 315		
	2			1 934	2 048	2 183	2 292	2 472		
	3			2 077	2 191	2 326	2 435	2 615		
	4			2 220	2 334	2 468	2 578	2 758		
Сильно засо- лены = 0,3	До 1			1 836	1 950	2 084	2 194	2 374		
	2			2 044	2 158	2 292	2 401	2 581		
	3			2 186	2 300	2 435	2 544	2 724		
	4			2 329	2 443	2 578	2 687	2 867		
Тяжёлый суглинок	Не засо- лены			До 1	2 342	2 456	2 591	2 514	2 880	
				2	2 514	2 628	2 762	2 686	3 050	
				3	2 678	2 791	2 927	2 850	3 215	
				4	2 836	2 948	3 084	3 007	3 372	

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Слабо засолены = 0,1	До 1	2 344	2 497	2 632	2 700	2 921
			2	2 500	2 612	2 747	2 856	3 036
			3	2 663	2 777	2 911	3 020	3 199
			4	2 820	2 934	3 068	3 178	3 356
		Средне засолены = 0,2	До 1	2 158	2 270	2 405	2 741	2 694
			2	2 329	2 442	2 576	2 872	2 866
			3	2 492	2 606	2 741	3 036	3 030
			4	2 650	2 764	2 898	3 193	3 186
		Сильно засолены = 0,3	До 1	2 557	2 671	2 806	2 915	3 095
			2	2 729	2 843	2 977	3 086	3 266
			3	2 893	3 007	3 142	3 251	3 431
			4	3 050	3 164	3 299	3 408	3 587
	Суглинок, супесь	Не засолены	До 1	1 973	2 086	2 220	2 329	2 509
			2	2 137	2 250	2 384	2 494	2 674
			3	2 302	2 414	2 549	2 658	2 838
			4	2 486	2 600	2 735	2 844	3 023
		Слабо засолены = 0,1	До 1	2 050	2 162	2 297	2 406	2 586
			2	2 227	2 341	2 476	2 585	2 765
			3	2 399	2 513	2 647	2 756	2 935
			4	2 563	2 676	2 812	2 921	3 100
		Средне засолены = 0,2	До 1	2 129	2 242	2 377	2 485	2 665
			2	2 308	2 420	2 555	2 664	2 844
			3	2 479	2 592	2 726	2 836	3 016
			4	2 642	2 756	2 891	3 000	3 179
		Сильно засолены = 0,3	До 1	2 186	2 302	2 436	2 545	2 724
			2	2 365	2 479	2 615	2 724	2 903
			3	2 537	2 651	2 785	2 894	3 074
			4	2 701	2 815	2 950	3 059	3 239

По показателям почвенно-мелиоративных и агроклиматических условий изучаемых территорий можно рассчитать нормы водопотребности риса для любого рисового севооборота. Согласно данным таблицы 4.7, расчётные нормы водопотребности риса брутто изменяются в зависимости от почвенно-мелиоративных и агроклиматических условий Ростовской области от 1425 до 3239 мм или, соответственно, от 14250 до 32390 м³/га.

Для разработки укрупнённых норм водопотребности сопутствующих культур в рисовых севооборотах в различных агроклиматических зонах России были использованы данные из документов «Укрупненные нормы водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур Центрального, Приволжского, Уральского, Сибирского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов» и ГОСТ Р 583312.3-2019, в которых представлены оросительные нормы для сельскохозяйственных культур различных регионов [143, 154, 156].

По опытным данным, полученным на рисовых оросительных системах, и экспертной оценке научных источников установлены поправочные коэффициенты, учитывающие особенности испарения с водной поверхности рисовых чеков, затопленных водой, и с полей, занятых сопутствующими культурами. Данная микроклиматическая поправка определяется в каждом случае с учётом внешних факторов, от которых она зависит. Поправочный коэффициент изменяется от 0,9 до 0,75.

При расчётах оросительных норм для сопутствующих культур также учтены дополнительные влагозапасы, остающиеся после риса, по сравнению с влагозапасами в полевом агроландшафте. В соответствии с этим, рассчитаны укрупнённые нормы для сопутствующих культур, которые представлены в таблице 4.8.

Для каждой группы сельскохозяйственных культур свойственны свои оросительные нормы. В зоне с $K_y = 0,31-0,4$ для многолетних трав они составляют во влажные годы от 24 мм до 676 мм в сухие годы с 95%-й обеспеченностью года по испаряемости; у сои эти показатели увеличиваются, соответственно, с 35 мм до 326 мм. В более влажной зоне с $K_y = 0,41-0,50$ оросительная норма у многолетних трав снижается до 484 мм, у сои – до 319 мм.

Таблица 4.8 – Нормы водопотребности сопутствующих культур рисового севооборота (брутто)

Коэффициент увлажненности K_y	Обеспеченность года по испаряе- мости, %	Сопутствующие культуры (нормы водопотребности, мм)				
		Многолетние травы (люцерна, клевер и др.)	Зерновые колосовые (яровые пшеница, ячмень, овёс)	Кукуруза на зерно	Соя на зерно	Горох
0,31–0,40	5	24	0	0	35	0
	25	169	37	72	132	11
	50	349	134	186	200	42
	75	466	232	302	258	103
	95	676	308	394	326	128
0,41–0,50	5	–	–	–	30	0
	25	64	0	0	130	0
	50	274	79	126	169	40
	75	420	210	185	229	90
	95	484	284	335	319	130

4.4.2 Нормы водоотведения с рисовых оросительных систем

Водоотведение с рисовых оросительных систем состоит из двух составляющих: основная доля – водоотведение с рисовых полей (чеков) и водоотведение с полей, занятых промежуточными культурами рисового севооборота, которые могут занимать 40–50 % севооборота [127, 128]. Нормы водоотведения с рисовых полей представлена в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Нормы водоотведения с рисовых полей (чеков, брутто)

Коэффициент увлажнения, K_y	Гранулометрический состав почвы	Степень засоления грунтов, %	Уровень УГВ, м	Нормы водоотведения (мм) при различной обеспеченности года по испаряемости, %				
				5	25	50	75	95
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,3–0,4	Глина	Не засолены	До 1	697	653	598	542	499
			2	853	810	755	700	656
			3	996	953	898	842	799
			4	1 139	1 096	1 040	985	942
		Слабо засолены = 0,1	До 1	773	730	674	619	575
			2	930	887	832	776	732
			3	1 073	1 030	974	919	875
			4	1 216	1 172	1 117	1 062	1 018
		Средне засолены = 0,2	До 1	853	809	754	698	655
			2	1 010	966	911	856	812
			3	1 153	1 109	1 054	998	955
			4	1 296	1 252	1 196	1 141	1 098
		Сильно засолены = 0,3	До 1	912	868	812	758	714
			2	1 118	1 075	1 020	965	922
			3	1 261	1 218	1 163	1 108	1 064
			4	1 404	1 361	1 306	1 250	1 207
	Тяжёлый суглинок	Не засолены	До 1	857	812	758	703	659
			2	1 028	984	929	874	830
			3	1 193	1 148	1 093	1 038	995
			4	1 350	1 306	1 250	1 195	1 152
		Слабо засолены = 0,1	До 1	857	853	799	744	700
			2	1 069	1 025	970	914	871
			3	1 234	1 189	1 134	1 079	1 036
			4	1 391	1 346	1 291	1 236	1 193
		Средне засолены = 0,2	До 1	824	780	725	670	626
			2	996	952	896	841	798
			3	1 159	1 116	1 061	1 006	962

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9		
			4	1 316	1 273	1 218	1 163	1 118		
		Сильно засолены = 0,3	До 1	1 072	1 028	973	918	874		
			2	1 243	1 200	1 145	1 090	1 045		
			3	1 408	1 363	1 309	1 254	1 210		
		4	1 565	1 520	1 465	1 411	1 367			
0,3–0,4	Суглинок, супесь	Не засолены	До 1	996	953	898	842	799		
			2	1 160	1 117	1 062	1 007	962		
			3	1 325	1 282	1 226	1 171	1 127		
			4	1 511	1 466	1 411	1 357	1 313		
		Слабо засолены = 0,1	До 1	1 073	1 030	974	919	875		
			2	1 252	1 207	1 153	1 098	1 054		
			3	1 423	1 379	1 324	1 268	1 225		
			4	1 588	1 543	1 488	1 433	1 390		
		Средне засолены = 0,2	До 1	1 153	1 109	1 054	998	955		
			2	1 331	1 288	1 232	1 177	1 133		
			3	1 502	1 459	1 404	1 349	1 304		
			4	1 667	1 622	1 567	1 513	1 469		
		Сильно засолены = 0,3	До 1	1 212	1 168	1 112	1 057	1 014		
			2	1 391	1 346	1 291	1 236	1 193		
			3	1 561	1 518	1 463	1 408	1 363		
			4	1 726	1 682	1 627	1 572	1 528		
		0,4–0,45	Глина	Не засолены	До 1	606	610	616	623	628
					2	763	767	773	779	785
					3	906	910	916	922	928
					4	1 049	1 052	1 058	1 064	1 070
Слабо засолены = 0,1	До 1			683	686	692	698	704		
	2			840	844	850	856	860		
	3			983	986	992	998	1 003		
	4			1 126	1 129	1 135	1 141	1 146		

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,4–0,45		Средне засолены = 0,2	До 1	762	766	772	779	784
			2	919	923	929	935	941
			3	1 062	1 066	1 072	1 078	1 084
			4	1 205	1 208	1 214	1 220	1 226
		Сильно засолены = 0,3	До 1	820	826	832	838	841
			2	1 028	1 032	1 038	1 044	1 050
			3	1 171	1 175	1 181	1 187	1 193
			4	1 314	1 318	1 324	1 330	1 336
	Тяжёлый суглинок	Не засолены	До 1	1 327	1 331	1 337	1 343	1 349
			2	1 499	1 502	1 508	1 514	1 520
			3	1 663	1 667	1 673	1 679	1 684
			4	1 819	1 824	1 830	1 836	1 841
		Слабо засолены = 0,1	До 1	1 327	1 372	1 378	1 384	1 390
			2	1 483	1 487	1 493	1 500	1 505
			3	1 648	1 651	1 657	1 663	1 669
			4	1 805	1 808	1 814	1 820	1 826
		Средне засолены = 0,2	До 1	1 141	1 146	1 152	1 158	1 163
			2	1 313	1 316	1 322	1 330	1 334
			3	1 477	1 481	1 487	1 493	1 499
			4	1 634	1 638	1 644	1 650	1 656
		Сильно засолены = 0,3	До 1	1 541	1 547	1 553	1 559	1 562
			2	1 712	1 717	1 724	1 730	1 734
			3	1 877	1 882	1 888	1 894	1 898
			4	2 034	2 039	2 045	2 051	2 056
	Суглинок, супесь	Не засолены	До 1	956	961	967	973	978
			2	1 121	1 126	1 132	1 138	1 142
			3	1 285	1 289	1 296	1 302	1 307
			4	1 471	1 475	1 481	1 487	1 493
Слабо засолены = 0,1		До 1	1 033	1 037	1 044	1 050	1 055	
		2	1 212	1 216	1 222	1 228	1 234	

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
			3	1 384	1 387	1 393	1 399	1 404
			4	1 547	1 552	1 558	1 564	1 568
		Средне за- солены = 0,2	До 1	1 112	1 117	1 123	1 129	1 134
			2	1 291	1 296	1 302	1 308	1 313
			3	1 463	1 466	1 472	1 480	1 484
			4	1 627	1 631	1 637	1 643	1 649
		Сильно за- солены = 0,3	До 1	1 171	1 176	1 182	1 188	1 193
			2	1 350	1 355	1 361	1 367	1 370
			3	1 520	1 526	1 532	1 538	1 542
			4	1 685	1 690	1 697	1 703	1 706

Объёмы водоотведения при орошении составляют до 12 % от оросительной нормы сельскохозяйственных культур. Это учтено при расчёте объёмов водоотведения с полей, занятых сопутствующими культурами. Нормы водоотведения с посевов сопутствующих культур представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Нормы водоотведения с посевов сопутствующих культур с рисовых оросительных систем, нетто

Коэффициент увлажнённости K_y	Обеспечен- ность, %	Сопутствующие культуры (нормы водоотведения, мм)				
		Многолетние травы (люцерна, клевер и др.)	Зерновые колосовые (яровые пшеница, ячмень, овес)	Кукуруза на силос	Соя на зерно	Горох
1	2	3	4	5	6	7
0,31–0,40	5	2	0	0	3	0
	25	17	4	7	13	1
	50	35	13	19	20	4
	75	47	23	30	26	10
	95	68	31	39	33	13

Продолжение таблицы 4.10

1	2	3	4	5	6	7
0,41–0,50	5	–	–	–	3	0
	25	6	0	0	13	0
	50	27	8	13	17	4
	75	–	–	–	23	9
	95	48	28	33	32	13

Нормы водоотведения с рисовых севооборотов рассчитаны по тем же показателям, что и нормы водопотребности риса и сопутствующих культур. Нормы водопотребности с рисовых севооборотов с учётом водоотведения с рисовых чеков, занятых рисом и занятых сопутствующими культурами, представлены в таблице 4.11 с учётом насыщенности рисового севооборота рисом.

Таблица 4.11 – Оросительная норма (норма водопотребности) рисового севооборота при различной насыщенности рисом (50–60 %) (на существующих севооборотах), из расчёта на 1 га в мм

Структура рисового севооборота	Доля культур в рисовом севообороте	Оросительная норма (нетто) при различной обеспеченности года по испаряемости, %			Оросительная норма (брутто) при различной обеспеченности года по испаряемости, %		
		50	75	95	50	75	95
1	2	3	4	5	6	7	8
Насыщенность севооборота рисом – 50 %							
Рис	0,5	877	904	927	1052	1085	1112
Озимая пшеница	0,12	4	8	10	5	9	12
Многолетние травы	0,05	7	12	21	8	14	25
Соя на зерно	0,1	4	7	9	4	8	10
Кукуруза на силос	0,01	0	1	3	1	2	3
АМП (горох)	0,22	23	34	51	27	41	61

Продолжение таблицы 4.11

1	2	3	4	5	6	7	8
Усреднённая оросительная норма на 1 га севооборота	–	912	966	1020	1098	1158	1224
Насыщенность севооборота рисом – 55 %							
Рис	0,55	964	994	1020	1157	1193	1223
Озимая пшеница	0,13	5	8	11	6	10	13
Многолетние травы	0,05	8	13	23	9	15	28
Соя на зерно	0,12	4	7	10	5	9	12
Кукуруза на силос	0,01	0,4	18	3	0,5	22	3
АМП (горох)	0,14	15	22	32	17	26	39
Усреднённая оросительная норма	–	996	1062	1098	1194	1278	1320
Насыщенность севооборота рисом – 60 %							
Рис	0,60	1052	1085	1112	1262	1302	1335
Озимая пшеница	0,15	5	9	12	6	11	14
Многолетние травы	0,05	8	14	25	10	17	30
Соя на зерно	0,13	4	8	10	5	10	13
Кукуруза на силос	0,01	1	2	3	1	2	4
АМП (горох)	0,06	6	9	14	7	11	17
Усреднённая оросительная норма	–	1074	1128	1176	1290	1350	1410

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. По результатам сценарных исследований гидродинамической модели Пролетарской оросительной системы была решена задача по подбору оптимального режима работы для дополнительного сооружения и существующего регулирующего сооружения на ПК 1427. Установлено, что для обеспечения заданных условий (обеспечение всех потребителей запрашиваемыми объемами воды), отметка открытия затвора дополнительного сооружения не должна превышать 24,1 м БС, перегораживающего на ПК 1427 – 21,8 м БС. Такой режим работы сооружений позволяет сэкономить около 30 млн м³ воды за оросительный период.

2. Представлено изобретение водозаборного сооружения для оросительной сети с плоским безригельным затвором и автоматической подачей воды в каналы младшего порядка, которое отличается тем, что регулирование постоянства расчётного уровня воды в отводящем канале младшего порядка осуществляется с помощью поплавка-противовеса, расположенного в канале младшего порядка.

3. Выполненные полевые исследования по изучению эвапотранспирации риса показали, что расход воды на испарение в первый период развития риса значительно превышает расход на транспирацию за тот же период. По результатам исследования, оросительная норма риса в опытах в полевых (производственных) условиях за годы исследований составляла 3018 тыс. м³/га в наиболее сухом 2018 г. с обеспеченностью года по испаряемости 95 %, 2848 тыс. м³/га в наиболее влажном 2019 г. с обеспеченностью года по испаряемости 74 %. Установлено, что эвапотранспирация составила в среднем за три года 976 мм, в том числе испарение с водной поверхности в лизиметрах – 500 мм и транспирация растений – 476 мм.

4. На основе полевых исследований, разработанных алгоритмов нами получены нормы водопотребности и водоотведения риса и сопутствующих культур для условий Ростовской области на территориях, занятых рисовыми оросительными

системами, с различными почвенно-мелиоративными и агроклиматическими условиями: с коэффициентами увлажнения $K_y = 0,3-0,4$ и $K_y = 0,4-0,45$; на землях с различным агрегатным составом и суточным коэффициентом фильтрации от 0,001 до 0,005 мм/сут; степенью засоления грунтов от 0,1 до 0,3 %; уровнем грунтовых вод от 1 до 4 м и обеспеченностью года по испарению с водной поверхности от 5 % до 95 % обеспеченности.

5 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ

Для расчётов эффективности разработанных алгоритмов в данной работе применялись отдельные положения ранее действующих методик и стандартов и современные рекомендации.

Разработанные алгоритмы были внедрены на Пролетарской оросительной системе в 2020 г. на межхозяйственном распределителе ПР-1 в трёх хозяйствах Пролетарского района: «Аргатак», «Цимлянский» и «Луч» (приложение В). Площади орошения по каждому хозяйству и основные возделываемые культуры приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Орошаемые площади по хозяйствам

Культура	Площадь орошения		
	Аргатак	Цимлянский	Луч
Рис	2900	1250	390
Многолетние травы	800	300	100
Зерновые колосовые	950	450	70
Соя на зерно	700	300	90
Всего	5350	2300	650

Согласно производственным данным, оросительная норма риса составляет 34 тыс. м³/га. По данным эксплуатационной организации ФГБУ «Ростовмелиоводхоз», плата за подачу воды осуществляется по площади и составляет 2700 руб./га. В переводе на 1 м³ это составляет 0,08 руб.

Расчёт эффективности выполнен путём сопоставления фактических данных при подаче заявки на водопользование и корректировке с учётом алгоритма. В таблице 5.2 представлены объём воды, сэкономленный при пересчёте на 1 га.

Таблица 5.2 – Оценка эффективности использования алгоритмов по хозяйствам
(расчёт на 1 га)

Объём водоподачи	Хозяйство		
	Аргамак	Цимлянский	Луч
По фактической заявке, м ³ на 1 га	18 548,86	18 593,17	20 509,62
Корректировка с учётом ра- боты алгоритмов, м ³ на 1 га	15 748,26	15 819,13	17 092,06
Экономия воды: - с 1 га м ³	2 800,60	2 774,04	3 417,55
- от план по фактической за- явке, %	15,10	14,92	16,66

За счёт корректировки объём подаваемой воды по всем хозяйствам снижается (рисунок 5.1). Наибольшая экономия в 3417 м³ на 1 га зафиксирована в хозяйстве «Луч». В процентном соотношении это составило 16 %. В хозяйствах «Аргамак» и «Цимлянский» экономия с 1 га составила 2800 м³ и 2774 м³ соответственно, что в процентном соотношении составляет около 15 % и 14 %.

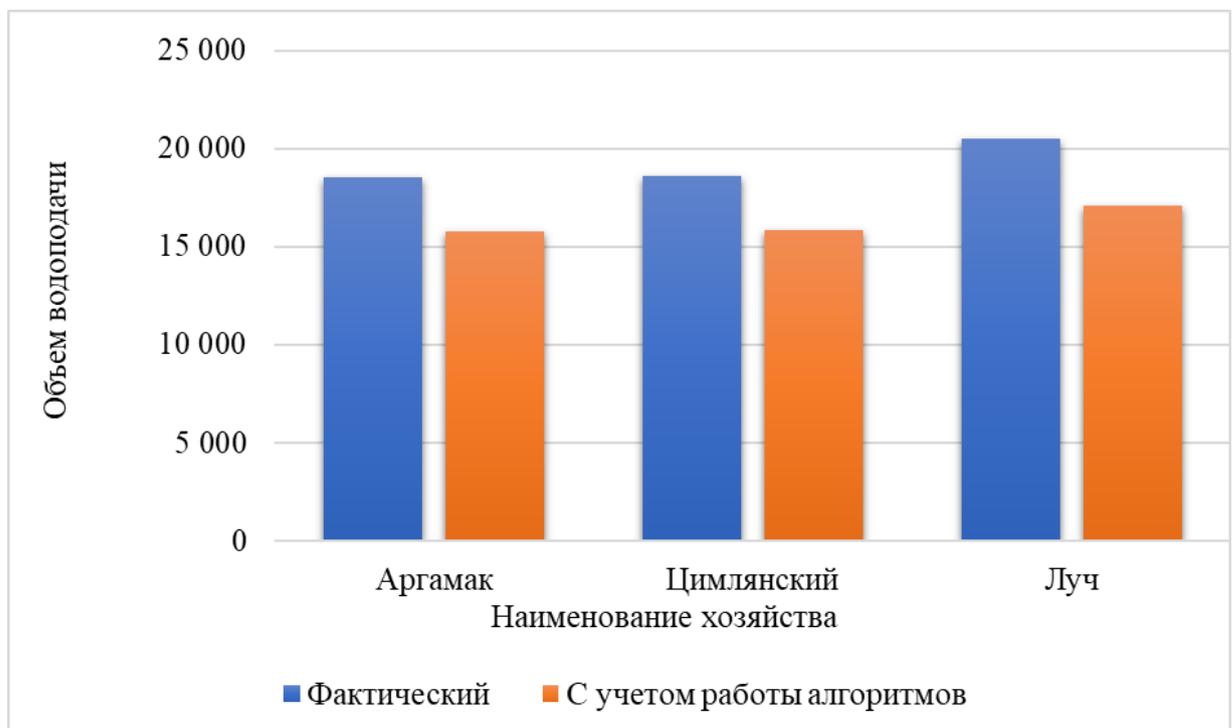


Рисунок 5.1 – Сопоставление объёмов водоподачи по хозяйствам, м³

В среднем экономия водных ресурсов на 1 га по трём хозяйствам составит 2997 м³ или 15 %.

Также выполнены расчёты по суммарным площадям возделываемых культур каждого хозяйства, которые приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оценка эффективности использования алгоритмов по суммарным площадям хозяйств

Объём водоподачи	Хозяйство			Суммарно по хозяйствам
	Аргамак	Цимлянский	Луч	
По фактической заявке, тыс. м ³	99 236,40	42 764,30	13 331,25	155 331,95
Корректировка с учётом работы алгоритмов, тыс. м ³	84 253,20	36 384,00	11 109,84	131 747,04
Экономия воды тыс. м ³	14 983,20	6 380,30	2 221,41	23 584,91
Стоимость подачи воды фактическая, тыс. руб.	7 938,91	3 421,14	1 066,50	12 426,56
Стоимость подачи воды с учётом работы алгоритма, тыс. руб.	6 740,26	2 910,72	888,79	10 539,76
Экономия всего, тыс. руб.	1 198,66	510,42	177,71	1 886,79

В данном случае наибольшая экономия водных ресурсов около 15 млн м³ отмечена в хозяйстве «Аргамак». В «Цимлянском» это значение составило 6,4 млн м³, в хозяйстве «Луч» – 2,22 млн м³. Суммарно по трём хозяйствам экономия воды составила 23,6 млн м³ (рисунок 5.2).

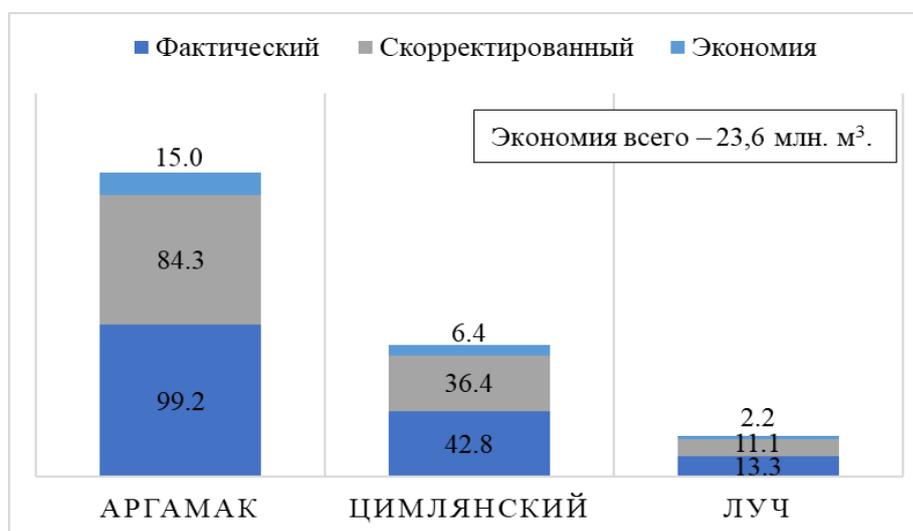


Рисунок 5.2 – Расчёт объёма водоподачи суммарно по хозяйствам, млн м³

На рисунке 5.3 графически отображено снижение стоимости подачи воды при использовании алгоритмов.

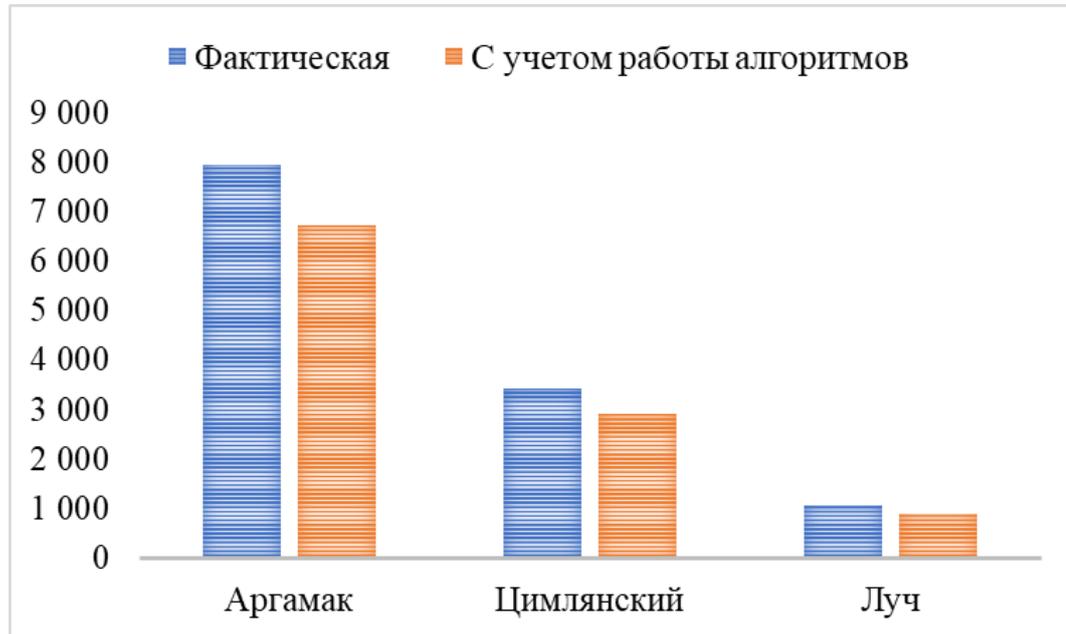


Рисунок 5.3 – Стоимость водоподачи по хозяйствам, тыс. руб.

Экономия на стоимости подачи воды при сопоставлении двух рассматриваемых вариантов следующая: «Аргмак» – 1,20 млн руб., «Цимлянский» – 0,51 млн руб., «Луч» – 0,18 млн руб. Суммарно по трём хозяйствам экономия составила 1,89 млн руб.

Стоит отметить, что по данным эксплуатационной организации урожайность риса в Пролетарском районе в 2020 году составила 50,9 ц/га [157].

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5

1. Внедрение разработанных алгоритмов позволяет снизить объёмы водоподачи за счёт корректировки по всем хозяйствам. Наибольшая экономия оросительной воды, равная 3417 м³/га, была зафиксирована в хозяйстве «Луч». В процентном

соотношении это составило 16 %. В хозяйствах «Аргамак» и «Цимлянский» экономия с 1 га составила 2800 м³ и 2774 м³ или 15 % и 14 % соответственно. В среднем, экономия водных ресурсов на 1 га по трём хозяйствам составила 2997 м³ или 15 %.

2. Эффект сокращения подачи воды в хозяйствах выражается в экономии стоимости её подачи. В рассматриваемых хозяйствах была получена следующая экономия в стоимостном выражении: «Аргамак» – 1,20 млн руб., «Цимлянский» – 0,51 млн руб., «Луч» – 0,18 млн руб. Суммарно по трём хозяйствам экономия составила 1,89 млн руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ научно-технической информации по проблемам водопользования выявил факторы, снижающие эффективность использования водных ресурсов в мелиоративном земледелии: низкий технический уровень оросительных систем, завышенные объемы водоподачи, проблемы при обработке больших массивов данных эксплуатирующими оросительные системы организациями. Внедрение геоинформационных технологий управления водораспределением на оросительных системах, особенно таких водоемких как рисовые, является одним из решений вышеописанных проблем.

2. Обоснована и разработана структура геоинформационной базы данных для оросительной системы, позволяющая систематизировать входящую информацию и посредством геопространственного анализа получать эксплуатационные параметры, обеспечивающие повышение эффективности управленческих решений за счет стандартизации способов сбора и хранения данных, снижения ошибок при разработке и использовании планов водопользования, внедрения цифровизации при планировании водопользования и управлении водными ресурсами.

3. Усовершенствована технология распределения водных ресурсов по системе оросительных каналов на основе гидродинамической модели движения потока на участке Пролетарского магистрального канала. Выполнены сценарные исследования разработанной модели, в результате которых решена задача по подбору оптимального местоположения и режима работы дополнительного регулирующего сооружения. Оптимальным местоположением дополнительного сооружения определен ПК-21000 (900 м ниже по течению водовыпуска ПР-1). Установлено, что для обеспечения всех потребителей запрашиваемыми объемами воды отметка открытия затвора дополнительного сооружения не должна превышать 24,1 м БС, перегораживающего на ПК 1427 – 21,8 м БС. Такой режим работы сооружений позволяет сэкономить около 30 млн. м³ воды за оросительный период.

4. Получены эмпирические зависимости испаряемости с водной поверхности рисового чека, величины испаряемости и транспирации в зависимости от динамики гидрометеорологических факторов в течение вегетации, а также биоклиматические коэффициенты транспирации риса. Оптимизирован технологический процесс орошения риса на основе полученных эмпирических зависимостей эвапотранспирации от динамики гидрометеорологических факторов, структуры водного баланса орошаемого поля и нормирования подачи и распределения водных ресурсов. Определены составляющие эвапотранспирации риса по периодам роста. Установлено, что в среднем за три года эвапотранспирация составила 976 мм, в том числе испарение с водной поверхности в лизиметрах – 500 мм и транспирация растений – 476 мм. Получен поправочный коэффициент и уравнение, учитывающие снижение испарения с водной поверхности чека под покровом растений.

5. Разработаны алгоритмы оперативной корректировки объемов подачи воды на рисовое поле и модель использования системы алгоритмов, работающие в едином информационном пространстве и обеспечивающие рациональность использования водных ресурсов на рисовых оросительных системах. Разработанные на основе алгоритмов программы ЭВМ для расчёта норм водоподдачи позволяют оперативно корректировать нормы водопотребления на различных участках рисовой оросительной системы, что обеспечивает водосбережение 15 % подаваемых объемов.

7. Разработана конструкция водозаборного сооружения для оросительной сети с автоматической регулировкой объёма водоподдачи в каналы младшего порядка, обеспечивающего рациональное распределение водных ресурсов по системе оросительных каналов. Предлагаемое сооружение позволит осуществлять автоматическую подачу воды в каналы младшего порядка с расходом от 0,5 до 3,5 м³/с без применения винтовых приводов.

8. Внедрение разработанных алгоритмов и программ позволило уменьшить объемы водоподдачи на 15 %, при этом экономия стоимости подачи воды составила 1,89 млн. руб.

Рекомендации производству

С целью повышения эффективности сбора, обработки, хранения и использования данных при планировании водопользования и управлении водными ресурсами в эксплуатационных организациях рекомендуется внедрять геоинформационные технологии. Для рационализации использования водных ресурсов на рисовых оросительных системах рекомендованы геоинформационная база данных, с помощью которой эксплуатационные организации получают информацию о количестве, пространственном местоположении, точках водозабора и параметрах водопользователей, а также программы ЭВМ для оперативной корректировки норм водопотребления на различных участках рисовой оросительной системы, что обеспечивает экономию 15 % подаваемых объемов и снижает затраты на водоподачу.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в совершенствовании технологической основы геоинформационных технологий управления водоподачей и водораспределением на основе оптимизации режимов и технологий орошения и сценарных исследований цифровых моделей основных элементов мелиоративных систем различных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России / В. Н. Щедрин [и др.], под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск, 2009. – 341 с.
2. Калиманов, Т. А. Водные ресурсы Российской Федерации, их использование и состояние [Электронный ресурс] / Т. А. Калиманов, Е. В. Усова, М. Л. Татосян // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). – 2017. – № 4(45). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vodnye-resursy-rossiyskoy-federatsii-ih-ispolzovanie-i-sostoyanie>.
3. Комплексное использование водных ресурсов при мелиорации сельскохозяйственных земель в регионах Российской Федерации 2011 [Электронный ресурс] / В. В. Копылов // Экономика. Социология. Менеджмент. – 2011. – № 9(82). – Режим доступа: [http://vestnik.fa.ru/4\(28\)2003/4.html](http://vestnik.fa.ru/4(28)2003/4.html).
4. Водная стратегия агропромышленного комплекса России на период до 2020 года. – М.: Изд-во ВНИИА, 2009. – 72 с.
5. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ: по состоянию на 30 декабря 2021 г.) [Электронный ресурс] // Доступ из справ. правовой системы Гарант.
6. Александровская, Л. А. Проблемы эффективного использования водных ресурсов в агромелиоративной сфере [Электронный ресурс] // Экономика и экология территориальных образований. – 2019. – Т. 3, № 4. – С. 82–87. – Режим доступа: <https://doi.org/10.2394K.413-1474-2019-3-4-S:-S7>.
8. Сметанин, А. Ю., Абдразаков Ф. К. Проблемы управления мелиоративным под комплексом на региональном уровне / А. Ю. Сметанин, Ф. К. Абдразаков // Вестник Саратовского ГАУ. – 2011. – № 3. – С. 47–51.

9. Кизяев Б. М., Безднина С. Я. Водная стратегия агропромышленного комплекса России на период до 2020 года / Б. М. Кизяев, С. Я. Безднина // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2010. – № 4. – С. 4–11.

10. Сметанин, А. Ю. Ресурсосбережение в орошаемом земледелии // Молодые учёные агропродовольственному комплексу России / Материалы конференции молодых учёных Приволжского федерального округа. – Саратов: Наука, 2009. – С. 161–166.

11. Сметанин, А. Ю. Эколого-экономическое обоснование механизма платно-ограничительного водопользования в условиях орошаемого земледелия Саратовской области / А. Ю. Сметанин, Ф. К. Абдразаков // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4(22). – С. 5–9.

12. Сметанин, А. Ю. Разработка и обоснование системы платежей за использование водных ресурсов в орошаемом земледелии (на примере предприятий мелиоративного комплекса Саратовской области): автореф. дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05 / Сметанин Алексей Юрьевич. – Саратов, 2012. – 24 с.

13. Балашникова, Ж. А. Водные ресурсы и их использование в административных регионах России: современные и перспективные оценки / Ж. А. Балашникова // Эко-бюллетень ИнЭка. – 2009. – № 4(135). – С. 46–53.

14. Григоров, М. С. Режимы мелиоративных агросистем / М. С. Григоров, Черемисинов А. Ю. // Мелиорация и водное хозяйство. – 1993. – № 2.

15. Айдаров, И. П. Оросительные мелиорации / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, М. Г. Мамаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: – Колос, 1982. – 176 с.

16. Айдаров, И. П. Мелиоративный режим орошаемых земель и пути его улучшения / И. П. Айдаров, А. И. Голованов // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 8. – 44 с.

17. Айдаров, И. П. Перспективы развития комплексных мелиорации / И. П. Айдаров. – М: МГУ, 2004. – 137 с.

18. Остапчик, В. П. Планирование режимов орошения на основе биологического метода расчёта водопотребления сельскохозяйственных культур (Обзорная

информация) / ЦБНТИ Минводхоза СССР / В. П. Остапчик. – М., 1981. – № 9. – 90 с.

19. Остапчик, В. П. Оптимальные нормы и сроки проведения поливов // Доклады ВАСХНИЛ / В. П. Остапчик. – 1984. – № 6. – С. 36–38.

20. Информационно-советующая система управления орошением / В. П. Остапчик [и др.]. – Киев: Урожай, 1989. – 248 с.

21. Кружилин, И. Н. Полнее использовать потенциал орошаемого зернового гектара // Мелиорация и водное хозяйство / И. Н. Кружилин. 1989. – № 2. – С. 42–44.

22. Кружилин, И. П. Ландшафт сохранные требования к орошению земель в засушливой зоне // Орошаемое земледелие в агроландшафтах степей: сб. науч. тр. Волгоград: ВНИИОЗ / И. Н. Кружилин. – 1994. – С. 3.

23. Кружилин, И. П. Ландшафтный метод к освоению орошаемых земель в засушливой зоне // Ландшафтный подход к мелиорации и вопросам землеустройства / И. Н. Кружилин. – М.: РАСХН, ВНИИМЗ, 1994. – С. 34.

24. Кружилин И. П. Экологические проблемы освоения орошаемых земель // Экономическая эффективность и проблемы экологии орошаемого земледелия / И. Н. Кружилин. – Волгоград: Орошение, 1991. – 3 с.

25. Кружилин И. П. Оптимизация водного режима почвы для получения запланированных урожаев сельскохозяйственных культур в степной и полупустынной зонах Нижнего Поволжья: дисс. ... д-ра наук: 06.01.02 / Кружилин Иван Пантелеевич. – Волгоград, 1982. – 429 с.

26. Расширенное воспроизводство плодородия почвы при интенсивном использовании орошаемых земель / И. П. Кружилин [и др.] // Повышение плодородия орошаемых почв при интенсивном использовании. – Волгоград, 1989. – С. 5–23.

27. Шумаков, Б. Б. Оптимальное управление – непереносимое условие эффективности и экологической безопасности в орошаемом земледелии // Вестник с.-х. науки / Б. Б. Шумаков, В. П. Остапчик. – 1990. – № 8. – С. 92.

28. Шумаков, Б. Б. Интенсификация использования водных ресурсов в промышленности и орошаемом земледелии // Водные ресурсы / Шумаков Б. Б., Прокофьев В. П.. 1996. № 3. С. 3–14.

29. Шумаков, Б. А. Рациональное использование обводнительно-оросительных систем / Шумаков Б. А. – М.: Колос, 1970. – 160 с.
30. Шумаков, Б. А. Орошение в засушливой зоне Европейской части СССР / Шумаков Б. А. – М.: Россельхозиздат, 1969. – 171 с.
31. Шумаков, Б. Б. Оросительная система в хозяйстве / Шумаков Б. Б. – М.: Россельхозиздат, 1975. – С. 151.
32. Шумаков, Б. Б. Мелиорация в XXI веке // Мелиорация и водное хозяйство / Шумаков Б. Б. – 1996. – № 3. – С. 4–6.
33. Шумаков, Б. Б. Комплексная мелиорация земель в ландшафтном земледелии // Ландшафтный подход в мелиорации и вопросы землеустройства: материалы семинара-совещания, 2–3 июля 1993 г. / Шумаков Б. Б. – Тверь: ВНИИМЗ. – С. 8.
34. Гидромелиоративные системы нового поколения / Б. Б. Шумаков [и др.]. – М.: ВНИИГиМ, 1997. – 109 с.
35. Щедрин В. Н. Орошение сегодня проблемы и перспективы / ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ» / В. Н. Щедрин. – М., 2004. – 253 с.
36. Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель России на период до 2020 года» / В. Н. Щедрин [и др.]. – М.: РАСХН, 2010. – 52 с.
37. Щедрин, В. Н. Управление водопользованием на оросительных системах, современное состояние и пути совершенствования // Сб. науч. тр. ЮжНИИГиМ / В. Н. Щедрин, В. И. Селюков. – Новочеркасск, 2001. – С. 34–36.
38. Ольгаренко, В. И. Эксплуатация оросительных систем / В. И. Ольгаренко. – М.: Россельхозиздат, 1978. – 170 с.
39. Ольгаренко, В. И. Эксплуатация гидромелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, П. А. Волковский, В. С. Станкевич, Б. М. Паршин. – М.: Колос, 1980. – 364 с.
40. Ольгаренко, В. И. Рекомендации по оценке эффективности использования воды на оросительных системах / В. И. Ольгаренко, Н. Ф. Чередниченко, В. Г. Гринченко. – Новочеркасск, 1983. – 30 с.

41. Ольгаренко, И. В. Управление технологическими процессами на экологически сбалансированных оросительных системах // Мелиорация и водное хозяйство / И. В. Ольгаренко. – 2007. – № 4. – С. 26–31.
42. Ольгаренко И. В. Экологический мониторинг мелиоративных систем // Мелиорация и водное хозяйство / И. В. Ольгаренко. – 2010. – № 4. – С. 44–48.
43. Ольгаренко, В. И. Современная концепция эксплуатации оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство / В. И. Ольгаренко, Ольгаренко Г. В. – 1999. – № 2. – С. 21–22.
44. Ольгаренко, И. В. Оценка качества планирования и реализации водопользования на оросительных системах / И. В. Ольгаренко // Вестник РАСХН. – 2009. – С. 35.
45. Ольгаренко, И. В. Программное обеспечение процесса планирования водопользования на оросительных системах // Природообустройство / И. В. Ольгаренко, В. И. Селюков. – 2011. – № 4. – С. 38–40.
46. Свистунов Ю. А. Техника и технология автоматизации внутрихозяйственного звена рисовых систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Юрий Анатольевич. – Краснодар, 1998. – 50 с.
47. Бышов, Н.В. Геоинформационные системы в сельском хозяйстве / Н. В. Бышов, Д. Н. Бышов, А. Н. Бачурин, Д. О. Олейник, Ю. В. Якунин. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013 – 169 с.
48. Геоинформационные системы в сельском хозяйстве. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://blogs.esri-cis.com/2018/08/09/gis-for-agriculture>.
49. Бородычев, В. В. Система «Анализ - визуализация данных - принятие решений» в составе ГИС управления орошением / В. В. Бородычев. М. Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2. – С. 37–43.
50. Андрианов, В. Д. ГИС в сельском хозяйстве / ARCREVIEW. Современные геоинформационные технологии / В. Д. Андрианов. – 2004. – №2(29). – С. 1-2.

51. Жеруков, Т. Б. Применение ГИС-технологий в сельском хозяйстве / Т. Б. Жеруков. – Текст: электронный // NovaInfo, 2016. – № 57. – С. 116-119. – URL: <https://novainfo.ru/article/10179> (дата обращения: 13.02.2023).

52. Батырова, А. М. Применение географических информационных систем в сфере АПК [Электронный ресурс] / А. М. Батырова, Т. Б. Жеруков – Режим доступа: <http://novainfo.ru/article/8683>.

53. Езиев, М. И. ГИС-технологии – эффективное решение некоторых проблем народного хозяйства [Электронный ресурс] / М. И. Езиев, Т. Б. Жеруков. – Режим доступа: <http://novainfo.ru/article/8548>.

54. Сербулов, Ю. С. Геоинформационные технологии / Ю. С. Сербулов, И. О. Павлов, В. К. Зольников, Д. Е. Соловей. – Воронеж: Издательство ВГУ, 2005.

55. Филиппов, Д. Н. Введение в геоинформационные системы. Учебное пособие / Д. Н. Филиппов, Е. А. Фортыхина, В. С. Фокин – РГОТУПС, 2007 г.

56. Применение ГИС для обеспечения технологии «точного земледелия» / АО КБ «Панорама». [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://gisinfo.ru/item/65.htm>.

57. Спутниковый мониторинг в сельском хозяйстве // Проект Aggeek.net. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://aggeek.net/rublog/sputnikovuyj-monitoring-v-selskom-hozyajstve>.

58. Гайдаш, К. А. Интеграция референтных моделей знаний различных отраслей / К. А. Гайдаш, В. И. Меденников // Материалы Международной научной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнесприложениях», Воронеж, 3–6 сентября 2018 г. – С. 27–36.

59. Меденников, В. И. Единое информационное Интернетпространство АПК на основе идей А. И. Китова и В. М. Глушкова об ОГАС / В. И. Меденников // Цифровая экономика. – 2018. – № 3. – С. 69–74.

60. Интеграция цифровой платформы АПК с цифровыми платформами смежных отраслей / Ф. И. Ерешко, В. В. Кульба, В. И. Меденников // АПК: экономика, управление. – 2018. – № 10. – С. 34 – 46

61. Лютых, Ю. А. Инновационные подходы к организации использования сельскохозяйственных земель // Вестн. КрасГАУ / Ю. А. Лютых. – Красноярск, 2011. – №7. – С. 90–93.

62. Понькина, Е. В. ГИС для управления сельскохозяйственным предприятием / ARCREVIEW. Современные геоинформационные технологии / Е. В. Понькина. – 2004. – № 2 (29). – С. 4–5.

63. Демерс М.Н. Географические информационные системы. Основы. Пер. с англ. / М. Н. Демерс. – М.: 1999. – 490 с.

64. Проектирование водохозяйственных систем / под ред. канд. техн. наук В. Х. Отмана. – М.: Стройиздат, 1984. – 364 с.

73. Компьютерное моделирование – современный инструмент решения задач речной гидравлики. Прогнозирование паводков в проекте «Волга-Рейн» / С. О. Бритвин [и др.] // Безопасность энергетических сооружений. Вып. 11. Гидрологическая безопасность и защита окружающей среды и населения от паводков. – М.: 2003. – С. 126–131.

74. Некрасов, А. В. Компьютерное моделирование гидродинамических процессов систем водоснабжения / А. В. Некрасов. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2014. – 312 с. – ISBN 978-5-7996-1114-9.

75. Пономаренко, Т. С. Особенности подготовки исходных данных для разработки компьютерных гидродинамических моделей / Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева, С. В. Ковалев, В. А. Сулина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 1(77). – С. 79–82.

76. Пономаренко Т. С., Рыжаков А. Н., Бреева А. В. Производственные балансовые водохозяйственные исследования на оросительных системах с использованием цифровых систем компьютерного моделирования // Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях: сб. науч. тр. по матер. науч.-практ. конф. ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», г. Энгельс, 25–27 мая 2016 г. – Энгельс, 2016. – С. 215–220.

77. Сенчуков Г. А., Пономаренко Т. С. Применение компьютерного моделирования режимов водопотребления и водораспределения для повышения эффективности организации водопользования на оросительных системах // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / Т. С. Пономаренко, Г. А. Сенчуков. – 2016. – № 4(64) – С. 27–31.

78. Узббер М. Задача для всей планеты // В мире науки / М. Узббер. – № 4. – 2015. – С. 65–71.

79. Бондаренко, В. Л. Основы конвергенции технологий в использовании водных ресурсов в сельскохозяйственном производстве / В. Л. Бондаренко, Е. А. Семенова, И. В. Гурин, А. В. Алиферов // В мире научных открытий. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 101–109.

80. Ковальчук, М. В. Конструктор для будущего // В мире науки / М. В. Ковальчук, О. С. Нарыбкин. – 2011. – № 9. – С. 24–31.

82. Бондаренко, В. Л. Научно-методологические основы природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем: монография / В. Л. Бондаренко, А. И. Ылясов, Е. Д. Хецуриани. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2019. – 353 с.

83. Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: оценка экологического состояния бассейновых геосистем: монография / В. Л. Бондаренко [и др.]; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Российский гос. политехнический ун-т (НПИ) им. М. И. Платова [и др.]. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 419 с.

84. Щедрин, В. Н. Концептуально-методологические принципы (основы) стратегии развития мелиорации как национального достояния России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев [Электронный ресурс]. – 2019. – № 1(33). – С. 1–11. – Режим доступа: <http://www.ros-niipm-sm.ru/archive?n=584&id=585>.

86. Перспективная ресурсосберегающая технология производства риса: метод. рекомендации. – М.: Росинформагротех, 2009. – 68 с.

87. Костылев, П. И. Северный рис / П. И. Костылев, А. А. Парфенюк, В. И. Степовой. – Ростов н/Д.: Книга, 2004. – 576 с.

88. Боровой, Е. П. Режим орошения и водопотребление риса в условиях южной зоны Амурской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование / Е. П. Боровой, М. В. Маканникова. – 2013. – № 1(29). – С. 91–95.

89. Тулякова, З. Ф. Рис на Северном Кавказе / З. Ф. Тулякова. – Ростов н/Д.: Кн. изд-во, 1973. – 116 с.

90. Малышева, Н. Н. Состояние и перспективы развития рынка риса в России [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). Краснодар: КубГАУ, 2016. – 08(122). – С. 431–447. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/31.pdf>.

91. Домрачев, С. С. Особенности развития рисосеяния в Краснодарском крае // Перспективы развития агропромышленного комплекса: отечественный и зарубежный опыт: сб. материалов II Международ. науч.-практич. конф. (г. Кемерово, 05 июня 2018 г.) / С. С. Домрачев, Э. Ю. Нагалецкий. – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2018. – С. 34–36.

92. Malysheva, N. N. Issues of grain quality of rice of Russian production // Материалы международ. науч. конф. «Достижения и перспективы развития селекции возделывания риса в странах с умеренным климатом» / N. N. Malysheva. – Краснодар, 2015. – С. 209–213.

93. Российский рынок риса – ключевые тенденции в 2019–2020 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrovesti.net/lib/industries/groats/rossijskij-rynok-risa-klyucheveye-tendentsii-v-2019-2020>.

94. Российский рынок риса в 1990–2013 гг., в январе 2014 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ab-centre.ru/articles/rossiyskiy-rynok-risa-proizvodstvo-risa-v-rossii-import-risa-v-rossiyu-eksport-risa-iz-rossii-ceny-na-ris-v-rossii>.

95. Посевные площади, валовые сборы и урожайность риса в России. Итоги 2018 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agrovesti.net/lib/industries/groats/posevnye-ploshchadi-valovye-sbory-i-urozhajnost-risa-v-rossii-itogi-2018-goda.html>.

96. Макаров, В. В. Особенности агротехники возделывания риса в Ростовской области / В. В. Макаров, М. В. Середа // Научный журнал КубГАУ, 2012. – № 79(05). – С. 1–10.

97. Пролетарский район – крупнейший производитель риса в Ростовской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://donbiz.ru/archive/articles/2638.html>.

98. Середа, М. В. Рациональное использование рисовых оросительных систем в хозяйствах Ростовской области: монография / М. В. Середа. – Новочеркасск: Темп, 2006. – 109 с.

99. Пономаренко, Т. С. Анализ современного состояния рисоводческой отрасли в Ростовской области / Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1(61). – С. 23–28.

100. Сенчуков, Г. А. Анализ некоторых показателей развития орошаемого земледелия в зоне ответственности Пролетарского магистрального канала в Ростовской области / Г. А. Сенчуков, Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4(64). С. 155–160.

101. Тулякова, З. Ф. Рис на засоленных землях / З. Ф. Тулякова. – М.: Колос, 1978. – 240 с.

102. Пономаренко, Т. С. Современное состояние и пути решения проблем водохозяйственного использования Пролетарской оросительной системы / Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 12–16.

103. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ: СП 317.1325800.2017. – М.: Минстрой России, 2017. – 190 с.

104. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей: ГКИНП-07-016-91: утв. и введ. в действие с 1 января 1992 г. приказом ГУГК СССР от 14 января 1991 г. № 6. – М.: Минстрой России, 1992. – 120 с.

105. ГОСТ Р 52440-2005. Модели местности цифровые. Общие требования: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2005 г. № 425-ст. – М.: Стандартинформ, 2006. – 11 с.

106. ВСН 33-2.1.07-87. Инженерно-геодезические изыскания для мелиоративного и водохозяйственного строительства. – М.: Минводхоз СССР, – 1987. – 13 с.

107. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М.: Минстрой России, 2016. – 170 с.

108. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 1998. – 92 с.

109. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах. ПТБ-88 // Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР: справочное пособие. – М.: Недра, 1991. – 303 с.

110. Попов, В. А., Островский Н. В. Агроклиматология и гидравлика рисовых экосистем: монография / В. А. Попов. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 189 с.

111. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

112. Зональные системы земледелия Ростовской области (на период 2013–2020 гг.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.don-agro.ru/index.php?id=928>.

113. Кузнецова, Е. И. Методы полевых, вегетационных и лизиметрических исследований в агрономии / Е. И. Кузнецова, М. Г. Алещенко, Е. Н. Закабунина. – М.: РГАЗУ, 2010. – С. 75–94.

114. Астапов, С. В. Методы изучения водно-физических свойств почв и грунтов // Почвенная съёмка / С. В. Астапов, С. И. Долгов. – М.: Академия наук СССР, 1959. – С. 299.

115. Хныкин, А. С. Изучение водного баланса почв аридной зоны на моделях лизиметрического комплекса ФНЦ агроэкологии РА // Научно-агрономический журнал / А. С. Хныкин. – 2017. – № 2. – С. 51–52.

116. Созинов, А. В., Методы исследования агроэкосистем: метод. указания для лабораторных занятий / А. В. Созинов, А. М. Плотников, И. Н. Порсев. – Лесниково: КГСХА, 2014. – 57 с.

117. Определение интенсивности транспирации срезанных листьев при помощи торсионных весов по Л. И. Иванову [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cozyhomestead.ru/Rastenia_3227.html.

118. Панов, В. Д. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра / В. Д. Панов, П. М. Лурье, Ю. А. Ларионов. – Ростов н/Д., 2006. – 487 с.

119. Деградация и охрана почв: под ред. Г. В. Добровольского. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.

120. Шеин, Е. В. Агрофизика / Е. В. Шеин, В. М. Гончаров. – М.: Феникс, 2006. – 400 с.

121. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

122. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. В 2 ч. – Ч. 1. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

123. Гостищев, В. Д. Техническое состояние и эффективность режима эксплуатации Пролетарского магистрального канала / В. Д. Гостищев, Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 6–10.

124. Харченко, С. И. Основы методов определения режима орошения / С. И. Харченко, А. С. Волков. – Обнинск, 1979. – 55 с.

125. Семененко, А. Н. Методика определения расчётного режима орошения и сброса, статей оросительной нормы и гидромодулей рисовых оросительных систем / А. Н. Семененко, В. В. Шатилов. – Краснодар: Кубаньгипроводхоз, 1972. – 52 с.

126. Свидетельство 2022610534 Российская Федерация. Программа для расчёта норм водопотребления и водоотведения риса и сопутствующих культур рисового севооборота / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, Т. С. Пономаренко; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ». – № 2021681783; заявл. 23.12.2021; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 12.01.22. – 1 с.

127. Оросительная норма и гидромодуль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://life-prog.ru/1_9013_orositelnaya-norma-i-gidromodul-risa.html.

128. Методические указания по созданию системы норм водопотребности и водоотведения в орошаемом земледелии. – Минск: ЦНИИКИВР, 1984. – 129 с.

129. Семененко, А. Н. Испарение и фильтрация воды с затопленного рисового поля / А. Н. Семененко // Труды Кубанского сельскохозяйственного института. – Краснодар: Краснодар. кн. изд-во, 1968. – Вып. 17(45). – С. 222–227.

130. Амелин, В. П. Эколого-ландшафтные основы устойчивого рисоводства: монография / В. П. Амелин, С. А. Владимиров. – Краснодар: КубГАУ. 2008. – 447 с.

131. Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, О. Ю. Шалашова, Г. И. Табала; под общ. ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 137 с

132. Свидетельство 2022610533 Российская Федерация. Программа для корректировки расчёта объёма водоподдачи на рисовый севооборот с учётом актуальных метеоданных / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, Т. С. Пономаренко; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ». – № 2021681782; заявл. 23.12.2021; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 12.01.2022. – 1 с.

133. Иванов Н. Н. Об определении величин испаряемости / Н. Н. Иванов // Известия ВГО. – 1954. – Т. 86, – № 2. – С. 189–196.

134. К проблеме автоматизации процесса расчетов эвапотранспирации риса / Г. Т. Балакай, Р. Е. Юркова, Л. М. Докучаева, В. Иг. Ольгаренко, Т. С. Пономаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 1(33). – 21 с.

135. Программа для ЭВМ 2018664402. Расчёт эвапотранспирации риса в рисовых оросительных системах / С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, М. Р. Гонзалез-Гальего, Д. А. Нецепляев. – № 20186662213; заявл. 02.11.18; опубл. 16.11.18. – 1 с.

136. Балакай, Г. Т. Совершенствование водопользования на рисовых оросительных системах // Мелиорация и гидротехника / Г. Т. Балакай, Т. С. Пономаренко. – 2022. – Т. 12, – № 3. – С. 106–122.

137. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под. ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

138. Сенчуков, Г. А. Моделирование процессов водораспределения на Пролетарской оросительной системе // Мелиорация и гидротехника / Г. А. Сенчуков, Т. С. Пономаренко. – 2022. – Т. 12, – № 1. – С. 141–156.

139. Пономаренко, Т. С. Результаты сценарных исследований полифункциональной модели Пролетарского магистрального канала / Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 3(67). – С. 40–46.

140. Пат. 2728676 Российская Федерация, МПК E02B 13/00 E02B 9/04. Водозаборное сооружение для оросительной сети с плоским безригельным затвором и автоматической подачей воды в каналы младшего порядка / С. М. Васильев, Г. А. Сенчуков, А. И. Тищенко, В. Д. Гостищев, С. А. Манжина, А. С. Штанько, Т. С. Пономаренко [и др.]; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2019120347; заявл. 27.06.19; опубл. 30.07.20, Бюл. № 22. – 11 с.

141. Рекомендации по научно обоснованным технологиям орошения сельскохозяйственных культур кукурузы на зерно, картофеля, лука и моркови современ-

ными стационарными широкозахватными круговыми и фронтальными дождевальными машинами Keinke и Valley в условиях центральной орошаемой зоны Ростовской области / Н. А. Иванова, Н. В. Михеев, С. Ф. Шемет, И. В. Турина; Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск, 2013. – 30 с.

142. Планирование водопользования при орошении сельскохозяйственных культур: INSTR.-метод. изд. – М.: Росинформагротех, 2014. – 172 с.

143. ГОСТ Р 58331.3-2019. Системы и сооружения мелиоративные. Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2019. – 32 с.

144. Эвапотранспирация растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/fao56.pdf>.

145. Лизиметрические исследования водного, теплового и пищевого режимов почв в луговодстве и полеводстве: метод. руководство. – Немчиновка: НИИСХ ЦРНЗ, 2007. – 56 с.

146. Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 750 с.

147. Льгов, Г. К. Орошаемое земледелие / Г. К. Льгов. – М.: Колос, 1979. – 191 с.

148. Иванов, Н. Н. Об определении величин испаряемости / Н. Н. Иванов // Известия ВГО. – 1954. – Т. 86, – № 2. – С. 189–196.

149. Методические указания по созданию системы норм водопотребности и водоотведения в орошаемом земледелии. – Минск: ЦНИИКИВР, 1984. – 129 с.

150. Балакай, Г. Т. К вопросу разработки норм водопотребности риса и водоотведения с рисовых оросительных систем / Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 3(31). – С. 1–22. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=556&id=557>.

151. Балакай, Г. Т. Эвапотранспирация риса на опытных участках, характерных для рисосеяния Ростовской области / Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юр-

кова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 4(32). – С. 184–200. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=567&id=578>.

152. Рекомендации по водопотреблению риса и сопутствующих культур в рисовых севооборотах юга России / Р. С. Масный, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, С. Н. Якуба, Н. Н. Малышева, С. В. Кизинёк, Т. С. Пономаренко. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2021. – 61 с. – ISBN 978-5-6046006-8-9.

153. Нормативы водопотребности риса в различных агроклиматических зонах России: монография / С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, С. Н. Якуба, Н. Н. Малышева, С. В. Кизинёк. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2020. – 202 с.

154. Укрупнённые нормы водопотребности для орошения сельскохозяйственных культур Центрального, Приволжского, Уральского, Сибирского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mcx-dm.ru/sites/all/files/no-rmi_vodopotrebnosti.pdf.

155. Набиев А. Н. Водопотребление и нормы орошения риса на опытных участках различных регионов рисосеяния [Электронный ресурс] / А. Н. Набиев. – 2018. – Режим доступа: <http://net.knigi-x.ru/24raznoe/55122-1-udk-631675-63318-vodopotreblenie-normi-orosheniya-risa-opitnih-uchastkah-razlichnih-rayonov.php>.

156. Балакай, Г. Т. Временные нормативы водопотребления риса и водоотведения с рисовых оросительных систем в различных агроклиматических зонах России: монография / Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, В. Ц. Челахов, С. Н. Якуба, Н. Н. Малышева, С. В. Кизинёк. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2019. – 122 с.

157. С 2017 по 2020 год урожайность риса в Ростовской области выросла на 23%. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://specagro.ru/news/202106/v-rostovskoy-oblasti-aktivno-razvivaetsya-proizvodstvo-risa>.

7. Griessbach U., Stange P., Schutze N. An economic-based estimation of irrigation water demand // *WIT Transactions on Ecology and The Environment* / U. Griessbach, P. Stange, N. Schutze. – 2014. – Vol. 185. doi:10.2495/SI140051.

65. Upadhyaya A. Allocation of Canal Water Optimally Employing OPTALL Model // *Irrigation & Drainage Systems Engineering* Upadhyaya. – 2016. – Vol. 5. – DOI: 10.4172/2168-9768.1000163.

66. Ikudayisi, A. Irrigation water optimization using evolutionary algorithms // *Environmental Economics*, 2015 / Ikudayisi A., Adeyemo J. – Vol. 6. – Iss. 1.

67. Dynamic Modeling and Simulation of Water Environment Management with a Focus on Water Recyclin / N. Xiang, J. Sha, J. Yan, F. Xu // *Water*, 2014. – Vol. 6. – P. 17–31. – DOI:10.3390/w6010017.

68. Weldeabzgi, G. G. Performance Evaluation of Organizational Arrangement in Irrigation Water Management at Serenta Irrigation Scheme, Northern Ethiopia // *Irrigation and Drainage Systems Engineering* / G. G. Weldeabzgi. – 2021. – Vol. 10:6, ISSN: 2168-9768.

69. Werdiningtyas1, R. The Use of Data and Information in Irrigation Water Management (Case Study: Colo Irrigation Area, Bengawan Solo River Basin) // *Earth and Environmental Science* 887 / Werdiningtyas1 R., Suminar L., Kusumastuti K. – 2021. – DOI:10.1088/1755-1315/887/1/012034.

70. Warnakulasooriya W.I.U. The Impact of Water Management Practices on Paddy Productivity in the Dry Zone of Sri Lanka // *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* / W. I. U. Warnakulasooriya, A. A. Shantha. – 2021. – Vol. – 15(5). – P. 1–9.

71. A guideline for sustainable irrigation water management: a case of a developing country / D. C. Sirimewan, A. Samaraweera, N. H. C. Manjula, E. M. A. C. Ekanayake // *Intelligent Buildings International*, 2020. – DOI:10.1080/17508975.2020.1809982.

72. Evaluating the Spatio-Temporal Distribution of Irrigation Water Components for Water Resources Management using Geo-Informatics Approach / Waqas Muhammad & Waseem Muhammad & Ali, Sikandar & Leta, Megersa & Shah, Adnan & Awan, Usman & Shah, Syed // *Sustainability*, 2021. – URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/15/8607>.

81. Saling P., Hover R. «Metrics for Sustainability» as part of RSCGreen Chemistry No. 4; Sustainable Solutions for Modern Economies Edited by Rain Hafer; The Royal Society of Chemistry; «Green Chemistry Series» edited by the Royal Society of Chemistry Societies Editors: J. Clark, University of York, G. Kraus, Iowa State University, 2009. – P. 25–37.

85. Environmental safety in the irrigation and watering systems design stage / S. M. Vasiliev, G. A. Senchukov, V. D. Gostishev, T. S. Ponomarenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development», Kislovodsk, Russian Federation, 01–05 okt. 2019. – Vol. 698. – Bristol: IOP Publishing Ltd, 2019. – DOI: 0.1088/1757-899X/698/5/055047.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Дополнительные материалы



Рисунок А 1 – Привязка планово-высотной сети к исходным пунктам триангуляции у ПМК



а



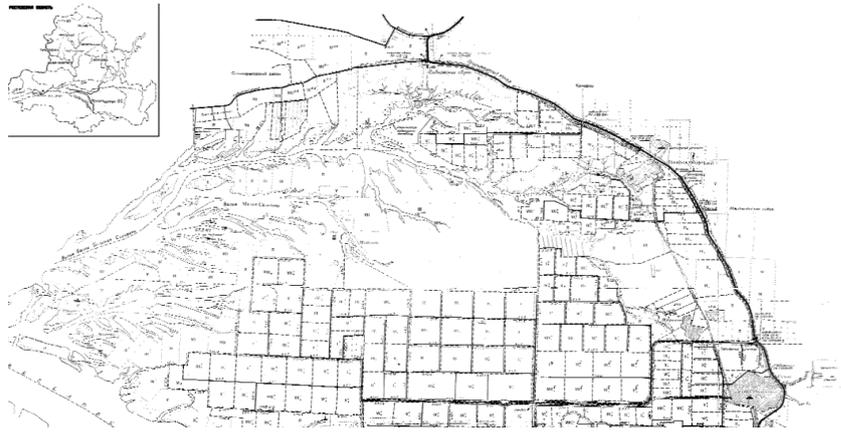
б



в

а – состояние русла Пролетарского канала ПК 1156; б – состояние русла на канале ПР-1 на ПК 26; в – состояние русла на перегораживающем сооружении ПР-1 ПК 120

Рисунок А 2 – Состояние русла ПМК



Привязка пунктов водоучёта к оросительным системам и пунктам водозабора							
Средство водоучёта	Тип сооружения (привязка с табл. 1)		Водопользователь		Место нахождения		Примечание
	Пункт водоучёта	Расход канала	Наименование организации и адрес	Лимит водо-забора	Канал	Пикет	
Фиксированное русло							
ПР - 1	м/х канал головное сооружение	25,3 - 1,25	ОАО "Цимлянский" ООО "Луч" ООО "Армак"	24	ПМК (Пролетарский магистральный)	1320 + 60	Требуют кап. ремонт
5 - У - 2	трубчатый водовыпуск	0,25 - 0,12	ООО "Луч"	0,25	ПМК	1321 + 27	
5 - Х - 2	прямоугольный водовыпуск	5,4 - 1,5	ООО "Луч"	5,4	ПМК	1333 + 40	
ПР - 2	шахтный водовыпуск	6,0 - 1,6	ООО "Луч" ООО "Энергия"	4,5	ПМК	1424 + 62	
КС	катастрофический сброс	25 - 0		25	ПМК	1425 + 50	
9 - У - 3	трубчатый водовыпуск	0,9 - 0,3		0,6	ПМК	1751 + 40	
КС	катастрофический сброс	20,0 - 0		20	ПМК	1794 + 00	
Х - 2	трубчатый водовыпуск	5,0 - 1,0	М. Ельмута	5		1784	
9 - У - 6	трубчатый водовыпуск	0,9 - 0,3	ООО «Приманьский»	0,6	ПМК	1874	
КС	катастрофический сброс	20 - 0,85		20	ПР - 1	120 + 50	
КС	концевой двухконсольный сброс	46		46	ПМК	1956 + 10	
Перегораживающие сооружения							
ПС	шлюз - регулятор	54 - 0		54	ПМК	1427 + 65	Требуют кап. ремонт
ПС	шлюз - регулятор	54		54	ПМК	1900	
ПС	открытый ж/б водовыпуск	20		10	ПР - 1	120 + 82	

Рисунок А 3 – Данные эксплуатационной организации

Таблица А 1 – Поправочный коэффициент на потери

Гранулометрический состав почвы	Степень засоления грунтов, %	УГВ, м, j	Поправочный коэффициент на потери, Кп	Уравнение для вычисления коэффициента
1	2	3	4	5
Коэффициент увлажнения 0,3–0,4				
Глина	Не засолены	До 1	1,44	$K_p = -0,0027j^2 + 0,1242j + 1,3147$
		2	1,55	
		3	1,66	
		4	1,77	
	Слабо засолены = 0,1	До 1	1,49	$K_p = -0,0027j^2 + 0,1242j + 1,3724$
		2	1,61	
		3	1,72	
		4	1,83	

Продолжение таблицы А 1

1	2	3	4	5
	Средне засолены = 0,2	До 1	1,55	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1242j + 1,432$
		2	1,67	
		3	1,78	
		4	1,89	
	Сильно засолены = 0,3	До 1	1,60	$K_{\Pi} = -0,012j^2 + 0,1815j + 1,4308$
		2	1,75	
		3	1,86	
		4	1,97	
Тяжёлый суглинок	Не засолены	До 1	1,56	$K_{\Pi} = -0,0025j^2 + 0,1358j + 1,4232$
		2	1,68	
		3	1,81	
		4	1,93	
	Слабо засолены = 0,1	До 1	1,59	$K_{\Pi} = -0,0086j^2 + 0,1638j + 1,4356$
		2	1,74	
		3	1,84	
		4	1,96	
	Средне засолены = 0,2	До 1	1,53	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1372j + 1,3968$
		2	1,66	
		3	1,78	
		4	1,90	
	Сильно засолены = 0,3	До 1	1,72	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1372j + 1,5835$
		2	1,85	
		3	1,97	
		4	2,09	
Суглинок, супесь	Не засолены	До 1	1,66	$K_{\Pi} = 0,0041j^2 + 0,1082j + 1,5497$
		2	1,78	
		3	1,91	
		4	2,05	
	Слабо засолены = 0,1	До 1	1,72	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1422j + 1,5795$
		2	1,85	

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5		
		3	1,98	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1426j + 1,6386$		
		4	2,11			
	Средне засо- лены = 0,2	До 1	1,78			
		2	1,91			
		3	2,04			
		4	2,17			
	Сильно засо- лены = 0,3	До 1	1,82		$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1426j + 1,6828$	
		2	1,96			
		3	2,09			
		4	2,21			
	Коэффициент увлажнения 0,4–0,45					
	Глина	Не засолены	До 1		1,49	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1242j + 1,367$
2			1,61			
3			1,71			
4			1,82			
Слабо засо- лены = 0,1		До 1	1,55	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1242j + 1,4247$		
		2	1,66			
		3	1,77			
		4	1,88			
Средне засо- лены = 0,2		До 1	1,61	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1242j + 1,4843$		
		2	1,72			
		3	1,83			
		4	1,94			
Сильно засо- лены = 0,3		До 1	1,65	$K_{\Pi} = -0,0122j^2 + 0,1829j + 1,4811$		
		2	1,81			
		3	1,91			
		4	2,02			
Тяжёлый суглинок		Не засолены	До 1	1,89	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1372j + 1,8957$	
			2	2,02		
			3	2,14		
			4	2,26		

Продолжение таблицы А,1

1	2	3	4	5
	Слабо засолены = 0,1	До 1	2,03	$K_{\Pi} = 0,0002j^2 + 0,119j + 1,9104$
		2	2,15	
		3	2,27	
		4	2,39	
	Средне засолены = 0,2	До 1	2,06	$K_{\Pi} = 0,005j^2 + 0,0896j + 1,9648$
		2	2,16	
		3	2,28	
		4	2,40	
	Сильно засолены = 0,3	До 1	2,19	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1372j + 2,0573$
		2	2,32	
		3	2,44	
		4	2,56	
Суглинок, супесь	Не засолены	До 1	1,75	$K_{\Pi} = 0,0041j^2 + 0,1082j + 1,6399$
		2	1,87	
		3	2,00	
		4	2,14	
	Слабо засолены = 0,1	До 1	1,81	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1426j + 1,6693$
		2	1,94	
		3	2,07	
		4	2,20	
	Средне засолены = 0,2	До 1	1,87	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1426j + 1,7288$
		2	2,00	
		3	2,13	
		4	2,26	
	Сильно засолены = 0,3	До 1	1,91	$K_{\Pi} = -0,0027j^2 + 0,1422j + 1,7744$
		2	2,05	
		3	2,18	
		4	2,30	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Копии патента на изобретение РФ и программ для ЭВМ



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 728 676** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
E02B 13/00 (2006.01)
E02B 9/04 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E02B 13/00 (2020.02); *E02B 9/04* (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019120347, 27.06.2019
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.06.2019
Дата регистрации:
30.07.2020
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 27.06.2019
(45) Опубликовано: 30.07.2020 Бюл. № 22
Адрес для переписки:
346421, Ростовская обл., г. Новочеркасск, пр-т
Баклановский, 190, врио директора ФГБНУ
"РосНИИПМ"

(72) Автор(ы):
Васильев Сергей Михайлович (RU),
Сенчуков Герман Александрович (RU),
Тищенко Александр Иванович (RU),
Гостищев Вячеслав Дмитриевич (RU),
Манжина Светлана Александровна (RU),
Штанько Андрей Сергеевич (RU),
Пonomаренко Таисия Сергеевна (RU),
Бреева Анна Викторовна (RU),
Ляшков Максим Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Российский
научно-исследовательский институт проблем
мелиорации" (ФГБНУ "РосНИИПМ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: Гидротехнические сооружения, ч.
2: учебник под ред. М.М. Гришина. М.:
Высшая школа, 1979, с. 28, рис. 19.12. SU
1763564 A1, 23.09.1992. SU 1693192 A1,
23.11.1991. SU 44183 A1, 31.08.1935. SU 50086 A1,
31.08.1936. CN 1353237 A, 12.06.2002.

(54) ВОДОЗАБОРНОЕ СООРУЖЕНИЕ ДЛЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С ПЛОСКИМ БЕЗРИГЕЛЬНЫМ ЗАТВОРОМ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕЙ ВОДЫ В КАНАЛЫ МЛАДШЕГО ПОРЯДКА

(57) Реферат:
Изобретение относится к гидромелиоративному строительству и может быть использовано в качестве водозаборного сооружения, содержащего плоский безригельный затвор, имеющий роликовые катки. Затвор перемещается по наклонной плоскости входной части, открывает автоматически входное отверстие для подачи воды из канала старшего порядка в канал младшего порядка за счет кинетической энергии потока и обеспечивает поддержание расчетного уровня воды в канале младшего порядка. Применение изобретения позволит осуществить автоматическую подачу

воды из канала старшего порядка в канал младшего порядка без применения винтовых приводов, управление которыми требует присутствия регулировщика. Наклонное положение затвора способствует увеличению пропускной способности водозаборного сооружения. Компактная конструкция водозаборного сооружения позволяет сэкономить строительные материалы и количество механизмов при строительстве данного сооружения в сравнении с типовыми сооружениями. 1 з.п. ф-лы, 6 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022610534

Программа для расчета норм водопотребления и водоотведения риса и сопутствующих культур рисового севооборота

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ») (RU)*

Авторы: *Масный Роман Степанович (RU), Балакай Георгий Трифонович (RU), Пономаренко Таисия Сергеевна (RU)*

Заявка № 2021681783

Дата поступления 23 декабря 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 января 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022610533

**Программа для корректировки расчета объема
водоподачи на рисовый севооборот с учетом актуальных
метеоданных**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Российский научно-
исследовательский институт проблем мелиорации»
(ФГБНУ «РосНИИПМ») (RU)*

Авторы: *Масный Роман Степанович (RU), Балакай Георгий
Трифонович (RU), Пономаренко Таисия Сергеевна (RU)*

Заявка № 2021681782

Дата поступления 23 декабря 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 января 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акты внедрения результатов НИР

Врио дир-ра ФГБНУ «РосНИИПМ»



Р. С. Масный
2021 г.

Директор Пролетарского филиала
ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»



В. А. Горнич
2021 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ (передачи) Геоинформационной базы данных

«Пролетарская мелиоративная сеть»

Геоинформационная база данных (ГБД) разработана при выполнении НИР по теме 2.1.2.2 «Провести анализ дефицита водных ресурсов ЕТР и разработать сценарные модели развития орошаемого земледелия с учетом наличия свободных водных ресурсов (на примере Ростовской области)» в рамках выполнения тематического плана проведения прикладных научных исследований ФГБНУ «РосНИИПМ» по государственному заданию Минсельхоза России на 2021 г.

Назначение ГБД:

ГБД служит в качестве способа сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и позволяет сформировать представление о количестве, пространственном местоположении водопользователей, границах участков, точках водозабора и параметрах водопользования каждого абонента.

Эксплуатационные характеристики ГБД:

1. В состав базы данных входит информация о линейных, точечных и площадных объектах:

Подгруппа	Кол-во, шт
14ор Пролетарская ветвь ДМК	
Линейные объекты	39
Точечные объекты	52
Полигональные объекты	183

2. ГБД разработана в формате .db3, .kmz с возможностью доступа к ней любого программного обеспечения для работы с ГИС.

Дополнительные показатели эффективности, достигаемые за счет внедрения ГБД:

- стандартизация (применение единого подхода) способа сбора и хранения данных при планировании водопользования;
- снижение ошибок при разработке и использовании планов водопользования;
- повышение цифровизации в области планирования водопользования и управления водными ресурсами.



Внедрения программы для ЭВМ

- 1. Наименование организации и объекта, где использована программа для ЭВМ:** ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз».
- 2. Наименование научной организации, проводившей разработку и опытное освоение программы:** ФГБНУ «РосНИИПМ», г. Новочеркасск.
- 3. Цель внедрения программы для ЭВМ:** экономия водных ресурсов за счет корректировки и управления водораспределением на рисовых оросительных системах Пролетарского района Ростовской области и моделирования режима эксплуатации ОС при выполнении научно-исследовательских работ.
- 4. Срок использования программы ЭВМ:** 2020-2021 год.
- 5. Название программы и сведения о ее регистрации:** Программа для корректировки расчета объема водоподачи на рисовый севооборот с учетом актуальных метеоданных (свидетельство о государственной регистрации № 2022610533 от 12.01.2022 г.).
- 6. Назначение программы:** управление водораспределением, за счет автоматизация инженерных расчетов количественной оценки и корректировки посуточного объема водоподачи на рисовый севооборот с учетом актуальных метеоданных
- 7. Решаемые задачи:** Программа позволяет осуществлять расчет транспирации риса с учетом посуточных актуальных метеоданных; расчет суточного и суммарного испарения с водной поверхности рисового поля; посуточный расчет и корректировка объемов водоподачи с учетом актуальных

метеоданных.

8. Фактический объем использования в натуральных показателях:

8.1 Число рабочих мест, на которых установлена программа: установлена на 1 ПК.

8.2 Количество специалистов, освоивших программу: 1.

9. Экономический эффект от внедрения: Ожидаемый экономический эффект от внедрения составит – 1,89 млн. руб.

Расчет экономического эффекта прилагается (приложение 1).

Представители разработчика
программы для ЭВМ ФГБНУ «РосНИИПМ


_____ Г. А. Сенчуков


_____ Т. С. Пономаренко

УТВЕРЖДАЮ
 Заместитель директора ФГБУ
 «Управление «Ростовмелиоводхоз»
 В. А. Назаренко

«15» _____ 2012

РАСЧЕТ

Экономического эффекта от внедрения программы для ЭВМ
 «Программа для корректировки расчета объема водоподачи на рисовый севооборот с учетом актуальных метеоданных»

Внедряемое мероприятие: Программа для корректировки расчета объема водоподачи на рисовый севооборот с учетом актуальных метеоданных (св. ЭВМ)

№ п/п	Объем водоподачи	Хозяйства			Суммарно по хозяйствам
		Армак	Цимлянский	Луч	
1	По плану водопользования, фактической заявке (базовый вариант), тыс. м ³	99 236,40	42 764,30	13 331,25	155 331,95
2	Корректировка с учетом управления водопотреблением (программа ЭВМ), (новый вариант), тыс. м ³	84 253,20	36 384,00	11 109,84	131 747,04
3	Экономия воды от внедрения программы (новый вариант), (стр. 1 – стр. 2) тыс. м ³	14 983,20	6 380,30	2 221,41	23 584,91
4	Стоимость подачи воды фактическая (базовый вариант), тыс. руб.	7 938,91	3 421,14	1 066,50	12 426,56
5	Стоимость подачи воды с учетом корректировки, программы ЭВМ (новый вариант), тыс. руб.	6 740,26	2 910,72	888,79	10 539,76
6	Экономия воды в стоимостном выражении, всего (стр. 4 – стр. 5), тыс. руб.	1 198,66	510,42	177,71	1 886,79

В результате расчета установлено, что применение разработанного алгоритма позволило сэкономить суммарно по трем хозяйствам 23,5 млн. м³, в стоимостном выражении этот составило 1,89 млн. руб.

Представители разработчика
 программы для ЭВМ ФГБУ «РосНИИПМ

_____ Г. А. Сенчуков

_____ Т. С. Пономаренко